



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo Fin de Grado

Análisis y propuesta de mejora del proceso de montaje de una transmisión de vehículo agrícola

Autor: David Damián Camarasaltas

Tutor: Higinio Rubio Alonso

Tutor de empresa: Juan Ignacio García

Leganés, Septiembre de 2014



Universidad
Carlos III de Madrid

**Título: ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE MONTAJE DE UNA
TRANSMISIÓN DE VEHÍCULO AGRÍCOLA**

Autor: DAVID DAMIÁN CAMARASALTAS

Tutor: HIGINIO RUBIO ALONSO

EL TRIBUNAL

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo de Fin de Grado el día 30 de Septiembre de 2014 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



Resumen

En este proyecto se refleja el trabajo realizado en el departamento de cajas pesadas de la fábrica John Deere Ibérica situada en Getafe (Madrid). Los objetivos principales son por un lado, analizar una transmisión de vehículo agrícola, adaptar su proceso de montaje y proponer mejoras del mismo; y por otro, mejorar el puesto de reproceso de la cadena de montaje.

El fin de ambos objetivos es asegurar la máxima calidad del producto mediante el seguimiento diario de la producción, el análisis de las principales causas de fallo y el conocimiento de la transmisión bajo estudio.

En la memoria se describe la transmisión para cosechador ProDrive, analizando su funcionamiento, proceso de producción y los ensayos que se realizan. Así mismo, se presentan las mejoras implantadas en la cadena para el perfeccionamiento del proceso de ensamblado.

Además, se describe el puesto de reproceso, en el que se reparan aquellas transmisiones que presentan algún tipo de defecto, y las mejoras implantadas en el mismo con el fin de asegurar la calidad total del producto.

Palabras clave: Transmisión, John Deere, unión mecánica, ProDrive.



Abstract

In this project is reflected the work done in the department of heavy gearboxes of the John Deere Iberica Factory located in Getafe (Madrid). The main goals are on the one hand, analyze a transmission of the agricultural vehicle, adapt its assembly process and suggest improvements of the same; on the other hand, improve the position of reprocessing of assembly line.

The end of both objectives is assure the maximum product quality through daily monitoring of production, the analysis of the principal causes of failures and the knowledge of the transmission under study.

In the memory is described the ProDrive harvester transmission, analyzing its performance, production process and the test carried out. Also, the improvements implemented in the chain for the perfection of the assembly process are presented.

Additionally, it is described the reprocess station, in which is repaired those transmission that present some kind of defect, and the implanted improvements in order to assure the total quality of the product.

Keywords: Gearbox, John Deere, mechanical connection, ProDrive.

Índice de contenidos

Capítulo I: Introducción y objetivos.....	15
1.1. Introducción	15
1.2. Objetivos	16
1.3. Estructura del documento.....	19
Capítulo II: Descripción de la empresa y sector de la maquinaria agrícola	21
2.1. La empresa John Deere	21
2.1.1. Historia de John Deere	21
2.1.2. La empresa	23
2.2. John Deere Ibérica S.A.....	23
2.2.1. Historia de Lanz Ibérica	23
2.2.2. Historia de John Deere Ibérica S.A.	24
2.2.3. Mercado John Deere Ibérica	25
2.2.4. Organización de la fábrica	26
Capítulo III: Introducción a las transmisiones mecánicas y elementos de unión	31
3.1. Fundamento teórico de cajas de cambios	31
3.2. Tipos de cajas de cambio	31
3.2.1. Cajas de cambio manuales	32
3.2.2. Cajas de cambio automáticas o hidromáticas.....	35
3.2.3. Cajas de cambio manual pilotada	38
3.3. Mecanismo diferencial.....	39
3.3.1. Diferencial mecánico libre o convencional	40
3.3.2. Diferenciales bloqueables	41
3.3.3. Diferenciales autoblocantes.....	41
3.4. La unión mecánica.....	44
3.4.1. Tipos de uniones	44
3.4.2. La unión roscada	53
3.4.3. Errores de apriete.....	56
Capítulo IV: El concepto de calidad y las normas ISO 9000.....	58
4.1. Calidad y organización del trabajo	58
4.1.1. Definición y objetivo de una política de calidad	58
4.1.2. Programas de mejora de la calidad.....	59
4.1.3. Las normas ISO 9000	61
4.1.4. Herramientas básicas de control de calidad	67

Capítulo V: Modelo de transmisión sometido a estudio	72
5.1. Caja de transmisión “PRODRIVE”	72
5.1.1. Descripción técnica	72
5.1.2. Proceso de montaje	82
5.1.3. Diagnóstico funcional de la transmisión	100
Capítulo VI: Metodología	109
6.1. Situación de partida	109
6.2. Análisis modal de fallos y efectos	110
6.2.1 Metodología AMFE.....	111
6.3. Recopilación y análisis de datos	116
6.3.1. Modos de fallo.....	116
6.3.2. FPY	117
6.3.3. Análisis de transmisiones defectuosas.....	118
Capítulo VII: Plan de mejora del proceso de montaje	120
7.1. Análisis de la situación productiva actual	120
7.2. Análisis de las causas de fallo.....	125
7.2.1. Análisis banco hidráulico.....	126
7.2.2. Análisis banco de rodadura	127
7.2.3. Análisis fallos en cadena.....	128
7.3. Estudio de los principales modos de fallo	128
7.3.1. Fugas de diferencial.....	129
7.3.2. Fugas de aire	135
7.3.3. Lubricación frenos de servicio.....	141
7.3.4. Estanqueidad freno de aparcamiento.....	148
7.4. Conclusiones de la mejora del proceso de montaje	154
Capítulo VIII: Ejecución del plan de mejora del puesto de reproceso	158
8.1. Situación actual del puesto de reproceso	158
8.1.1. Introducción	158
8.1.2. Lay-out y flujo de materiales.....	159
8.1.3. Sistema de trazabilidad	162
8.1.4. Conclusiones situación de partida	164
8.2. Ejecución plan de mejora del puesto de reproceso	166
8.2.1. Objetivos del plan de mejora	166
8.2.2. Instalación banco de volteo automático	167
8.2.3. Instalación herramienta eléctrica de apriete	171



8.2.4. Instalación prensa de reproceso de premontajes.....	179
8.2.5. Documentación y ayudas en reproceso	183
8.2.6. Evolución del Lay-out y flujo de materiales	185
8.2.7. Conclusiones de la propuesta de mejora del puesto de reproceso.....	187
Capítulo IX: Estudio económico y de inversión	188
9.1. Estudio de la propuesta de mejora de la línea de montaje	188
9.1.1. Fugas de diferencial.....	189
9.1.2. Fugas de aire	191
9.1.3. Lubricación frenos de servicio.....	196
9.1.4. Estanqueidad freno de aparcamiento.....	197
9.1.5. Conclusiones del ahorro de la línea de montaje	199
9.2. Estudio de la propuesta de mejora del puesto de reproceso	200
9.2.1. Inversión del proyecto y justificación económica	200
9.3. Coste de la realización del estudio de la propuesta de mejora	210
Capítulo X: Conclusiones y actuaciones futuras	211
10.1. Conclusiones	211
10.2. Acciones futuras	213
Bibliografía.....	215
Anexos	222

Índice de figuras

Capítulo II: Descripción de la empresa y sector de la maquinaria agrícola

Figura 1: “Línea de montaje ProDrive”	18
Figura 2: “Situación de John Deere en el mundo”	21
Figura 3: “Tractor Waterloo Boy”	22
Figura 4: “Fábrica Lanz Ibérica años 50”	23
Figura 5: “Inspección de tractores John Deere”	25
Figura 6: “Mapa de regiones”	25
Figura 7: “Vista aérea de la fábrica”	26
Figura 8: “Expositor de piezas Cajas Ligeras”	28
Figura 9: “Expositor de piezas Mandos Finales”	29
Figura 10: “Transmisiones montadas en Cajas Pesadas”	30

Capítulo III: Introducción a las transmisiones mecánicas y elementos de unión

Figura 11: “Transmisión manual de tres ejes”	32
Figura 12: “Transmisión manual de tres ejes con diferencial integrado”	33
Figura 13: “Proceso de sincronización caja de cambios”	35
Figura 14: “Convertidor de par”	36
Figura 15: “Tren epicicloidal”	36
Figura 16: “Flujo interno en el convertidor de par”	37
Figura 17: “Relaciones de transmisión en un tren epicicloidal”	38
Figura 18: “Transmisión manual pilotada”	39
Figura 19: “Partes de un diferencial convencional”	40
Figura 20: “Diferencial por discos de fricción”	42
Figura 21: “Diferencial Ferguson”	43
Figura 22: “Diferencial Torsen”	43
Figura 23: “Diagrama resumen tipos de uniones mecánicas”	44
Figura 24: “Montaje de roblones”	45
Figura 25: “Fuerzas de atracción en la unión adhesiva”	46
Figura 26: “Tipos de fallos en uniones adhesivas”	47
Figura 27: “Sellador”	48
Figura 28: “Tornillo con adhesivo pre-aplicado”	48
Figura 29: “Junta adhesiva”	49
Figura 30: “Conjunto anillo elástico y herramienta de montaje”	50
Figura 31: “Tipos de chavetas”	50

Figura 32: “Tipos de lengüetas”	51
Figura 33: “Funciones de los pasadores”	51
Figura 34: “Gráfica de fuerza de amarre y ángulo de giro para junta rígida y elástica”	54
Figura 35: “Comportamiento elástico de la unión atornillada”	55
Figura 36: “Gráfica tensión-deformación”	55
Figura 37: “Gráfica de influencia del coeficiente de fricción vs fuerza de amarre”	56
Figura 38: “Fenómeno de relajación en la unión roscada”	57
Figura 39: “Fenómeno de aplastamiento en unión roscada”	57

Capítulo IV: El concepto de calidad y las normas ISO 9000

Figura 40: “Certificación AENOR”	61
Figura 41: “Logotipo del Comité Europeo de Normalización”	62
Figura 42: “Logotipo de la Organización Internacional de Normalización”	62
Figura 43: “Diagrama de gestión de calidad Norma ISO 9000”	65
Figura 44: “Diagrama de gestión de calidad Norma ISO 9004”	66
Figura 45: “Ejemplo de hoja de control”	67
Figura 46: “Ejemplo histograma”	68
Figura 47: “Ejemplos de distribuciones de histograma”	68
Figura 48: “Ejemplo de diagrama de Pareto”	69
Figura 49: “Ejemplo diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa”	69
Figura 50: “Ejemplo diagrama de dispersión”	70
Figura 51: “Ejemplo de gráfico de control”	71

Capítulo V: Modelo de transmisión sometido a estudio

Figura 52: “Transmisión para cosechadora ProDrive DE30056”	72
Figura 53: “Gráfico comparativo entre distintos modelos de transmisión para cosechadora”	73
Figura 54-a: “Modelo DE20902”	74
Figura 54-b: “Modelo DE20745”	74
Figura 54-c: “Modelo DE30056”	74
Figura 55: “Elementos principales de la transmisión ProDrive DE30056”	75
Figura 56: “Cuerpo de válvulas de la transmisión”	76
Figura 57: “Eje de entrada modelo DE30056”	76
Figura 58: “Esquema del flujo de potencia de la primera velocidad”	78
Figura 59: “Esquema del flujo de potencia de la segunda velocidad”	79
Figura 60: “Pedales de freno de servicio de cosechadora”	79
Figura 61: “Esquema de actuación de los frenos de servicio”	80
Figura 62: “Esquema de actuación del sistema de bloqueo del diferencial”	81

Figura 63: “Esquema de actuación de desactivación del freno de estacionamiento”	82
Figura 64: “Lay-out de la línea de montaje ProDrive”	83
Figura 65: “Explosionado del conjunto diferencial”	84
Figura 66: “Explosionado del eje intermedio”	85
Figura 67: “Explosionado del transportador inferior”	86
Figura 68: “Explosionado del transportador superior”	86
Figura 69: “Explosionado del eje longitudinal del eje de entrada”	87
Figura 70: “Explosionado del embrague superior del eje de entrada”	87
Figura 71: “Explosionado del embrague inferior del eje de entrada”	88
Figura 72: “Montaje del conjunto de embragues con eje longitudinal del eje de entrada” ..	88
Figura 73: “Explosionado del conjunto portasatélites del eje de entrada”	89
Figura 74: “Explosionado del montaje del portasatélites del eje de entrada”	89
Figura 75: “Explosionado de montaje solar eje de entrada”	89
Figura 76: “Explosionado del freno de servicio”	90
Figura 77: “Explosionado del montaje del freno de estacionamiento”	91
Figura 78: “Carro con kit para premontajes”	91
Figura 79: “Movimientos del carro de volteo de la línea de montaje”	92
Figura 80: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 1”	93
Figura 81-a: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 2”	94
Figura 81-b: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 2”	95
Figura 82: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 3”	96
Figura 83: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 4”	97
Figura 84: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 5”	98
Figura 85: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 6”	99
Figura 86: “Pantalla de ensayos hidráulico”	103
Figura 87: “Pantalla de ensayos de rodadura”	108

Capítulo VI: Metodología

Figura 88: “Pareto de fallos de banco hidráulico”	118
Figura 89: “Pareto de fallos de banco de rodadura”	119
Figura 90: “Pantalla de recopilación de datos del puesto de reproceso”	119

Capítulo VII: Plan de mejora del proceso de montaje

Figura 91: “Gráfico de comparación semanal de los principales modos de fallo”	120
Figura 92: “Gráfica de producción semanal”	122
Figura 93: “Gráfico de producción diaria”	123
Figura 94: “Diagrama de porcentajes de fallos detectados”	124
Figura 95: “Gráfico de evolución de transmisiones defectuosas”	124

Figura 96: “Pareto de fallos de banco de ensayos hidráulicos”	126
Figura 97: “Pareto de fallos de banco de ensayos de rodadura”	127
Figura 98: “Pareto de fallos en cadena de montaje”	128
Figura 99: “Circuito de actuación para el bloqueo de diferencial”	129
Figura 100: “Resultado de presión para la prueba de fugas de diferencial”	130
Figura 101: “Resultado de caudal para la prueba de fugas de diferencial”	131
Figura 102: “Elementos implicados en el circuito de bloqueo de diferencial”	132
Figura 103: “Volteador para la instalación de las juntas tóricas de estanqueidad”	134
Figura 104: “Guías para el montaje de los transportadores de freno”	135
Figura 105: “Elementos de estanqueidad para prueba de fugas de aire”	136
Figura 106: “Microfugómetro para la prueba de fugas de aire”	136
Figura 107: “Pareto de causas de fallos en prueba de fugas de aire”	140
Figura 108: “Circuito de activación de la lubricación de los frenos de servicio”	142
Figura 109: “Resultado de presión para la prueba de lubricación de frenos de servicio”	143
Figura 110: “Resultado de caudal para la prueba de lubricación de frenos de servicio”	143
Figura 111: “Elementos implicados en el circuito de lubricación de los frenos de servicio”	145
Figura 112: “Circuito de estanqueidad del freno de estacionamiento”	148
Figura 113: “Resultado de presión para la prueba de estanqueidad del freno de estacionamiento”	149
Figura 114: “Resultado de caudal para la prueba de estanqueidad del freno de estacionamiento”	149
Figura 115: “Elementos implicados en el circuito de estanqueidad del freno de estacionamiento”	151
Figura 116: “Comparativa de los resultados de presión entre el banco de línea y reproceso”	154
Figura 117: “Evolución mensual de transmisiones rechazadas por fugas de diferencial”	154
Figura 118: “Evolución mensual de transmisiones rechazadas por fugas de aire”	155
Figura 119: “Evolución mensual de transmisiones rechazadas por lubricación frenos de servicio”	156
Figura 120: “Evolución mensual de transmisiones rechazadas por estanqueidad del freno de aparcamiento”	156
Figura 121: “Evolución mensual del FPY para la transmisión ProDrive DE30056”	157

Capítulo VIII: Ejecución del plan de mejora del puesto de reproceso

Figura 122: “Lay-out del puesto de reproceso de la situación de partida”	159
Figura 123: “Banco de volteo del puesto de reproceso en la situación de partida”	160
Figura 124: “Mesa de herramientas del puesto de reproceso”	161
Figura 125: “Estanterías de material del puesto de reproceso”	161

Figura 126: “Chapa identificativa de John Deere”	163
Figura 127: “Transmisión defectuosa con tarjeta identificativa de modo de fallo”	164
Figura 128: “Nuevo banco de volteo instalado en el puesto de reproceso”	168
Figura 129: “Botonera bimanual de accionamiento del banco de volteo”	169
Figura 130: “Conjunto de herramientas de apriete eléctrico”	172
Figura 131: “Atornillador Desoutter de la serie EME”	174
Figura 132: “Gráfica de apriete por control de par”	174
Figura 133: “Gráfica de apriete por control de par y ángulo”	175
Figura 134: “Gráfica de apriete a par más ángulo”	175
Figura 135: “Gráfica de tensión frente ángulo de giro”	175
Figura 136: “Controlador Desoutter CVI3 Vision”	176
Figura 137: “Catálogo de brazos de reacción de par Desoutter”	178
Figura 138: “Selector de vasos Desoutter”	179
Figura 139: “Prensa para el reproceso de premontajes”	181
Figura 140: “Botonera e indicadores de la prensa de reproceso”	182
Figura 141: “Camino de rodillos instalada en reproceso para el posicionamiento de los premontajes”	183
Figura 142: “Lay-out del puesto de reproceso tras la implementación de las propuestas de mejora”	186

Anexos

Figura A1-1: “Informe de pruebas generado en el banco de rodadura del premontaje del diferencial”	225
Figura A2-1: “Informe de pruebas generado en el banco de rodadura del premontaje del eje de entrada”	227
Figura A2-2: “Informe de pruebas generado en el banco de rodadura del premontaje del eje de entrada”	228
Figura A3-1: “Informe de pruebas generado en el banco hidráulico para una transmisión correcta”	230
Figura A3-2: “Informe de pruebas generado en el banco hidráulico para una transmisión incorrecta”	230
Figura A3-3: “Tabla de activación de electroválvulas del banco de ensayos hidráulico”	231
Figura A3-4: “Tabla de consignas del banco de ensayos hidráulico”	231
Figura A4-1: “Informe de pruebas generado en el banco de rodadura”	233
Figura A4-2: “Tabla de activación de electroválvulas del banco de rodadura y consignas de paso”	234
Figura A5-1: “Ejemplo de tabla para la realización del análisis modal de fallos y efectos (A.M.F.E.)”	236
Figura A6-1: “Guía para el reproceso de los modos de fallo del banco hidráulico”	238

Figura A7-1: “Diagrama de Pareto de transmisiones con defecto ProDrive modelo DE30056 para pruebas de banco hidráulico y de rodadura”	240
Figura A8-1: “Plano banco de volteo puesto de reproceso ProDrive”	242
Figura A9-1: “Plano conjunto de atornillador 1”	244
Figura A9-2: “Plano conjunto de atornillador 2”	245
Figura A9-3: “Plano conjunto de atornillador 3”	246
Figura A10-1: “Plano del conjunto de la prensa para premontajes del puesto de reproceso ProDrive”	248
Figura A11-1: “Ejemplo de hoja de datos mecánicos empleada en el proceso de montaje de la cadena de producción ProDrive”	250
Figura A12-1: “Ejemplo de hoja de ayuda visual para el reproceso de los principales modos de fallo”	252
Figura A12-2: “Ejemplo de ayuda visual para el proceso de ensamblado y reproceso de transmisión ProDrive”	253
Figura A13-1: “Hoja de montaje para el reproceso de la transmisión ProDrive DE30056” ..	255

Índice de tablas

Tabla 1: “Ventajas e inconvenientes de los adhesivos”	46
Tabla 2: “Clasificación de los adhesivos”	47
Tabla 3: “Tipos de pasadores”	52
Tabla 4: “Tipos de arandelas”	53
Tabla 5: “Combinación de embragues del eje de entrada para las relaciones de transmisión” 77	
Tabla 6: “Criterios para la valoración del índice de severidad”	113
Tabla 7: “Criterios para la valoración del índice de ocurrencia”	114
Tabla 8: “Criterios para la valoración del índice de detección”	114
Tabla 9: “Tabla de datos resumen del análisis de producción de la transmisión ProDrive DE30056”	121
Tabla 10: “Matriz de consolidación causa-efecto para el modo de fallo de fugas de diferencial”	131
Tabla 11: “AMFE de proceso para la situación de partida de los elementos implicados en fugas de diferencial”	133
Tabla 12: “AMFE de proceso para la situación final de los elementos implicados en fugas de diferencial”	134
Tabla 13: “Matriz de consolidación causa-efecto para el modo de fallo de fugas de aire”	137
Tabla 14: “Principales uniones y elementos de la estanqueidad de la transmisión”	137
Tabla 15: “AMFE de proceso de los elementos implicados en fugas de aire”	139
Tabla 16: “Matriz de consolidación causa-efecto para el modo de fallo de lubricación de los frenos de servicio”	144
Tabla 17: “AMFE de proceso para la situación de partida de los elementos implicados en lubricación de los frenos de servicio”	146
Tabla 18: “AMFE de proceso para la situación de final de los elementos implicados en lubricación de los frenos de servicio”	147
Tabla 19: “Matriz de consolidación causa-efecto para el modo de fallo de estanqueidad del freno de estacionamiento”	150
Tabla 20: “AMFE de proceso para la situación de partida de los elementos implicados en la estanqueidad del freno de estacionamiento”	152
Tabla 21: “AMFE de proceso para la situación final de los elementos implicados en la estanqueidad del freno de estacionamiento”	153
Tabla 22: “Dimensiones antropométricas en posición de pie para varios grupos étnicos”	170
Tabla 23: “Alturas de codo en posición de pie para varios grupos étnicos	170
Tabla 24: “Valores de par de apriete para las uniones atornilladas de la transmisión ProDrive DE30056”	173
Tabla 25: “Catálogo de especificaciones de atornilladores eléctricos Desoutter”	174

Tabla 26: “Operaciones con prensa para el ensamblado de los premontajes”	180
Tabla 27: “Tiempos estimados para el reproceso por fugas de diferencial”	190
Tabla 28: “Tiempos estimados para el reproceso por fugas de aire en la tapa frontal”	192
Tabla 29: “Tiempos estimados para el reproceso por fugas de aire en la tapa del cuerpo de válvulas”	193
Tabla 30: “Tiempos estimados para el reproceso por fugas de aire entre el transportador y la carcasa”	194
Tabla 31: “Tiempos estimados para el reproceso por fugas de aire entre el transportador y el freno”	195
Tabla 32: “Tiempos estimados para el reproceso de lubricación frenos de servicio”	196
Tabla 33: “Tiempos estimados para la repetición de pruebas en banco de reproceso”	198
Tabla 34: “Tiempos estimados para el reproceso por estanqueidad del freno de estacionamiento”	199
Tabla 35: “Ahorro económico tras las mejoras del proceso de montaje en cadena”	199
Tabla 36: “Inversión del proyecto de mejora del puesto de reproceso”	200
Tabla 37: “Tiempo de reproceso de premontajes para la situación de partida”	201
Tabla 38: “Coste unitario de reproceso de premontajes para la situación de partida”	202
Tabla 39: “Unidades anuales con defecto en premontaje”	202
Tabla 40: “Coste anual de reproceso de premontajes para la situación de partida”	203
Tabla 41: “Unidades de premontajes no producidos para la situación de partida”	203
Tabla 42: “Coste anual de premontajes no producidos para la situación de partida”	204
Tabla 43: “Unidades de transmisiones no producidos para la situación de partida”	204
Tabla 44: “Coste anual de transmisiones no producidos para la situación de partida”	205
Tabla 45: “Coste anual total para la situación de partida”	205
Tabla 46: “Tiempo de reproceso de premontajes para la situación final”	205
Tabla 47: “Coste unitario de reproceso de premontajes para la situación final”	206
Tabla 48: “Coste anual de reproceso de premontajes para la situación final”	206
Tabla 49: “Ahorro total anual para el reproceso de premontajes en puesto de reproceso” ...	207
Tabla 50: “Estimación de tiempo de reproceso para cada modo de fallo en la situación de partida y final”	207
Tabla 51: “Unidades defectuosas anuales para cada modo de fallo”	208
Tabla 52: “Ahorro total anual por la disminución de los tiempos de manipulación”	208
Tabla 53: “Ahorro total anual con la implementación de mejora del puesto de reproceso” ...	209
Tabla 54: “Presupuesto de realización del proyecto”	210

Capítulo I: Introducción y objetivos

1.1. Introducción

El presente proyecto se ha llevado a cabo en la fábrica de John Deere Ibérica situada en Getafe (Madrid), en el departamento de producción de cajas pesadas, con la colaboración de todos los departamentos implicados y el trabajo diario del personal de la fábrica.

Todas las acciones y documentación presentadas en este manuscrito son fruto de la entrada en producción del nuevo modelo de transmisión para cosechadora ProDrive DE30056. Para ello se ha realizado un estudio, análisis y seguimiento diario desde la entrada en producción del producto (30 de Septiembre de 2013) hasta la finalización de la beca concedida en la empresa (13 de Mayo de 2014).

El proyecto recoge la evolución, durante el periodo de estudio, de la producción de la cadena identificando los fallos detectados durante el ensamblado de la caja, analizando las posibles causas a partir del funcionamiento de la misma, el proceso de ensamblado y los resultados obtenidos del estudio de las transmisiones. La información recabada se ha empleado en la realización del análisis modal de fallos y efectos con el fin de determinar acciones o medidas sobre el proceso de montaje que disminuyan la ocurrencia y detección de las posibles causas de fallo.

Como extensión de la mejora del proceso de montaje en la cadena, y fruto de la implantación de un programa de cero defectos en la línea, se ha llevado a cabo una modificación del puesto de reproceso con el fin de equiparar dicho puesto a la línea, asegurando con ello los requisitos de calidad, seguridad y productividad de la compañía.

Por lo tanto, el trabajo desarrollado a lo largo del proyecto define y presenta, por un lado, las mejoras y propuestas implantadas con el fin de optimizar la producción, asegurar la calidad y disminuir los costes asociados a los fallos en cadena; por otro lado, se presenta la mejora del puesto de reproceso, al que se envían las transmisiones que presentan algún tipo de defecto, a fin de asegurar la calidad total del producto.

Por último, la información recabada en este documento, junto con el material realizado durante el desarrollo del proyecto, pueden emplearse como fuente de información al describirse el funcionamiento de la transmisión, los circuitos de actuación y los diferentes elementos que la componen. También se detalla e ilustra el proceso de ensamblado y los diferentes ensayos realizados sobre la transmisión.

La realización de este proyecto se debe al trabajo constante y diario entre los distintos departamentos, así como la implicación, esfuerzo y ayuda de todo el personal involucrado, en el que me ha sido posible participar y tomar parte gracias a la colaboración entre la empresa John Deere Ibérica S.A. y la Universidad Carlos III de Madrid.

1.2. Objetivos

El proyecto que se desarrollará en este trabajo tiene como objetivo la mejora del proceso de montaje y pretende detectar las ineficiencias en la cadena de producción, analizar las principales causas de fallos y defectos producidos para llevar a cabo acciones correctoras y preventivas; con ello, se busca mejorar el denominado “First Pass Yield” (piezas buenas a la primera), indicador de la eficiencia del proceso de ensamblado para la transmisión bajo estudio. Dado que se busca la calidad total, el trabajo de mejora implantado en la cadena se extenderá al puesto de reproceso con el fin de asegurar que todos los productos cumplen los parámetros de calidad, mejorando con ello también las condiciones de trabajo y la productividad de la línea.

El proyecto puede desglosarse en dos objetivos principales, para los cuales será necesario realizar una serie de tareas. El primero de los objetivos consistirá en analizar una transmisión de vehículo agrícola, adaptar su proceso de montaje y proponer mejoras del mismo. Para alcanzar este objetivo será necesario realizar las siguientes tareas:

- Conocer y documentar el funcionamiento de la transmisión de forma descriptiva, sencilla y gráfica, así como los elementos que la componen, indicando los circuitos de activación y las condiciones operacionales.
- Conocer y documentar el proceso de ensamblado de la transmisión y los elementos que la forman, indicando el orden de ensamblado de la misma, las secuencias de comprobación y ensayos que aseguran su correcto funcionamiento.
- Estudiar los motivos de fallo de las transmisiones rechazadas en cadena con el fin de detectar el origen de las posibles causas de fallo. Comparar los resultados obtenidos con los teóricos en función de las pruebas realizadas y el funcionamiento de la transmisión.
- Estudiar e implantar medidas correctoras o preventivas con el propósito de disminuir la ocurrencia de las causas de fallo, mejorando de este modo el proceso de ensamblado y la eficiencia del mismo, con el objetivo de alcanzar la máxima calidad.
- Analizar los resultados económicos alcanzados que se obtienen tras el proceso de mejora y las medidas implantadas.

Una vez conseguidos estos hitos, se procederá a cumplir el segundo objetivo del proyecto consistente en mejorar el puesto de reproceso de la cadena de montaje, con el fin de cumplir los siguientes puntos:

- Garantizar que las condiciones del puesto se adecuan y equiparan a las alcanzadas en la cadena de producción. Con ello se busca mejorar las condiciones de trabajo, aumentar la seguridad del proceso y mantener la calidad del producto.
- Eliminar posibles situaciones de riesgo debidas a la manipulación de las transmisiones para su posicionamiento en el banco de trabajo.

- Mantener la independencia del puesto de reproceso con respecto a la cadena de producción, eliminando interferencias y posibles problemas de calidad.
- Asegurar la trazabilidad tanto de la transmisión como de los elementos y premontajes que la componen, almacenando la información de las operaciones llevadas a cabo en el puesto de reproceso.
- Aumentar la productividad y eficiencia del puesto de reproceso agilizando el análisis de los modos de fallo y las tareas de reproceso, mediante la documentación de las posibles causas de fallo y los principales pasos a seguir para el reproceso de una transmisión que no cumple con las especificaciones.
- Analizar los resultados económicos alcanzados tras la modificación del puesto y el retorno de la inversión.

Para la realización de estos objetivos será necesario, en primer lugar, conocer la cadena de montaje, estudiando diariamente los procesos productivos de los diferentes modelos, recurriendo a la experiencia de los operarios de la línea y supervisión; a su vez será necesario familiarizarse con el funcionamiento del modelo bajo estudio, identificando mediante la documentación de la compañía las diferencias técnicas y funcionales del nuevo modelo bajo estudio con respecto al resto de transmisiones. Estos datos se basarán en los recopilados por los departamentos de nuevos productos, diseño y manufactura durante la realización de prototipos.

Una vez adquiridos los conocimientos básicos, y con la entrada de la transmisión bajo estudio a producción, se procederá a realizar la documentación requerida en los objetivos planteados; para ello se fotografiará cada paso del proceso de montaje, determinado por los ingenieros de producción. Para la realización de las imágenes de circuitos de activación y explosionados de montaje se partirá del modelo tridimensional de la transmisión, realizado por el departamento de diseño y nuevos productos; cada ilustración se realizará con ayuda del programa Teamcenter Visualization Mockup desarrollado por Siemens.

Por otro lado, el seguimiento de la producción diaria y las principales causas de fallo se realizará haciendo uso de hojas de cálculo, en la que se registrarán los datos necesarios para el análisis y estudio de la producción. Los resultados se estudiarán semanalmente entre los departamentos de producción, manufactura, calidad y diseño, con ayuda de otros departamentos en caso de que fuese necesario. A su vez, y como se expondrá a lo largo de la memoria, se realizará el AMFE de proceso (análisis modal de fallos y efectos) de la transmisión bajo estudio, actualizando la documentación periódicamente y haciendo uso del software corporativo de evaluación. En base a los resultados obtenidos se procederá a la propuesta e implantación de mejoras del proceso de montaje.

Para la modificación del puesto de reproceso se partirá del conocimiento adquirido en el proceso de montaje, tanto de la transmisión bajo estudio como del resto de modelos productivos, ya que dicho puesto debe de estar adaptado a todas las transmisiones de la cadena. El proyecto se llevará a cabo gracias al trabajo conjunto de los departamentos de producción, manufactura, calidad, seguridad, compras, y el trabajo de contrataciones externas.

Se realizará un AMFE de proceso para el puesto de reproceso valorando, para la transmisión bajo estudio, todos los procesos de montaje, suponiendo el caso de ensamblado de una transmisión completa en dicho puesto.

Toda la documentación realizada para el puesto de reproceso se hará, como en el caso anterior, con ayuda del programa Teamcenter Visualization Mockup, desarrollado por Siemens, para ilustrar los explosionados y circuitos funcionales de la transmisión.

Para finalizar, la documentación realizada, así como los cálculos de tiempos y ahorros económicos, se realizarán con ayuda de una hoja de cálculo.

En la siguiente imagen (figura 1) se ilustra la cadena de montaje ProDrive donde se llevará a cabo el presente proyecto.



Figura 1: "Línea de montaje ProDrive"

1.3. Estructura del documento

A continuación se expone un breve resumen de la memoria para cada uno de los capítulos en que se divide:

- Capítulo 1: en este capítulo introductorio se recogen los objetivos del presente proyecto y la estructura de la memoria.
- Capítulo 2: se efectúa una breve introducción de la compañía John Deere presentando la historia y evolución de la misma para, posteriormente, exponer la evolución histórica y los orígenes de la factoría de John Deere Ibérica situada en Getafe, lugar donde se ha llevado a cabo el presente proyecto. Por último, se presenta la organización de la fábrica y los principales productos que en ella se fabrican.
- Capítulo 3: se realiza una introducción teórica de los sistemas de transmisión de potencia de un vehículo convencional, describiendo las clases de cajas de cambio, los elementos principales y el funcionamiento básico de las mismas. De igual modo, se hace una introducción a los mecanismos diferenciales.

Por otro lado, se presentan las principales formas de unión mecánica, para posteriormente centrarse en la unión atornillada, su comportamiento mecánico, las cargas que soporta y los principales errores de apriete que pueden producirse durante un proceso de ensamblado.

- Capítulo 4: se hace una breve introducción al concepto de calidad, junto con los programas de cero defectos y círculos de calidad. Dentro de este apartado se presentan a su vez las normas para la gestión de la calidad de la serie ISO 9000 y las siete herramientas básicas para el control de la calidad.
- Capítulo 5: en este capítulo se presenta el modelo de transmisión de potencia para cosechadora bajo estudio. En los distintos apartados se expone el funcionamiento básico del modelo productivo bajo estudio, sus características físicas, así como el proceso de montaje, tanto de la transmisión como de los elementos que la componen. Para finalizar, se exponen los ensayos que se llevan a cabo sobre el producto con el fin de asegurar la calidad y funcionalidad de la transmisión.
- Capítulo 6: se recogen y define la metodología seguida para el estudio y valoración llevada a cabo. Se presenta la herramienta de calidad de “análisis modal de fallos y efectos” empleada a lo largo del estudio del proceso de producción y los pasos a seguir para el desarrollo de la misma. También se recoge el proceso para el estudio y análisis de los defectos de las transmisiones empleado durante el proyecto, para la identificación de las principales causas de fallo, y fuente de información para el “análisis modal de fallos y efectos”.
- Capítulo 7: se expone el desarrollo del proyecto llevado a cabo en la cadena de ensamblado. Se presentan los resultados numéricos obtenidos a lo largo del estudio en base a los cuales se llevan a cabo una serie de medidas. En la presente memoria se

analizan los cuatro principales ensayos en banco causantes del rechazo del 67,7% de las transmisiones en cadena; en base a estos ensayos se define el funcionamiento de cada prueba, el circuito estudiado y los elementos implicados. Para cada uno de los test se presentan a su vez los resultados de los análisis llevados a cabo para la identificación de la causa raíz y las propuestas de mejora implantadas o bajo estudio para la mejora del proceso.

- Capítulo 8: se corresponde con la parte del proyecto encargada de la modificación del puesto de reproceso, al cual se mandan las transmisiones denegadas en la línea. Se expone la situación de partida del puesto y las causas por las que es necesario llevar a cabo las medidas de mejora. Por otro lado, se presentan las herramientas instaladas en el puesto, describiendo cada elemento tanto funcional como técnicamente.
- Capítulo 9: en este capítulo se recoge el impacto económico de las mejoras implantadas en la línea, analizado para cada modo de fallo los resultados obtenidos en función de los costes. Por otro lado, se expone la inversión realizada en el puesto de reproceso y se hace una valoración económica de los resultados obtenidos mediante la toma de tiempos y la mejora del proceso. Finalmente se presenta un presupuesto del coste asociado a la realización de la presente memoria.
- Capítulo 10: se trata de un resumen en el que se engloban las conclusiones del proyecto. Por otro lado, en base a los resultados y acciones implantadas, se plantean una serie de medidas de mejora que puedan llevarse a cabo con posterioridad. Este capítulo se basa en la idea de mejora continua, con el fin de seguir trabajando en un futuro para mejorar la calidad, productividad y seguridad de la cadena de montaje.
- Bibliografía: en este apartado se expone la documentación consultada durante la realización del proyecto y la redacción de la memoria.
- Anexos: en el apartado de anexos se presentan diferentes documentos empleados en el proyecto, como los informes generados en los banco de pruebas de la cadena de producción; también se exponen los planos de los distintos elementos instalados en el puesto de reproceso. Por último, se muestra parte de la documentación realizada a lo largo del proyecto.

Capítulo II: Descripción de la empresa y sector de la maquinaria agrícola

El presente capítulo pretende hacer una presentación de la empresa “Deere & Company”, sus inicios, su evolución histórica y la situación actual. Posteriormente se centra en la fábrica de Getafe haciendo un recorrido histórico de la misma para exponer finalmente su organización y los productos que se pueden encontrar en esta factoría.

2.1. La empresa John Deere

Siendo más conocida por su marca comercial John Deere, “Deere & Company” es una compañía dedicada principalmente a la fabricación de maquinaria agrícola aunque también tiene mercado en la división de jardinería y construcción. Es considerada como la empresa líder en el sector agrícola y una de las principales en maquinaria de construcción y explotaciones forestales. Por otro lado, la compañía amplía sus fronteras con equipos adaptados a necesidades militares, así como la fabricación de motores y transmisiones.

En la actualidad John Deere cuenta con instalaciones y fabricas repartidas en más de 42 países (ver figura 2) dando empleo directo a más de 50.000 personas.



Figura 2: “Situación de John Deere en el mundo”

2.1.1. Historia de John Deere

La historia de la compañía comienza con el nacimiento de John Deere en febrero de 1804. Herrero de profesión, Deere creó un nuevo tipo de arado de acero en 1837 que era ideal para el duro suelo de Illinois (Estados Unidos), donde desarrolló su idea. Con ello empieza su

imparable crecimiento, produciendo al año siguiente 10 arados más y alcanzando una producción de 100 en 1842.

Tras 31 años como empresa, la compañía adopta el todavía actual nombre de Deere & Company, ampliando seguidamente sus productos (arados, sembradoras y bicicletas) hasta 1914. Este año produce su primer tractor, el Waterloo Boy (ver figura 3), en unión a la compañía “Waterloo Gasoline Traction Engine Company”. John Deere añade la fabricación de tractores como parte de su gama de productos al comprar dicha compañía en 1918, lo que supone a su vez el inicio de su producción de motores.

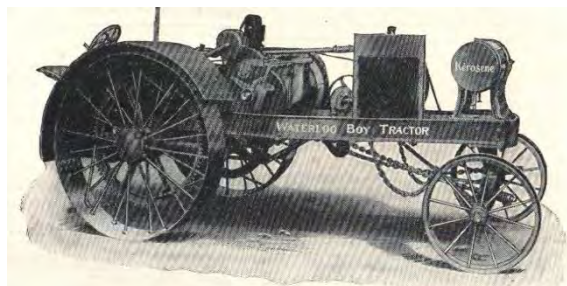


Figura 3: “Tractor Waterloo Boy”

A pesar de las dificultades económicas tras la caída de la llamada edad de oro de la agricultura, la compañía revive al sacar nuevos modelos de tractores y diversificar sus actividades. En 1927 entra en la producción de cosechadoras y en 1920 comienza la comercialización de equipos ligeros de obras públicas, creando la división industrial en 1958; a su vez, este mismo año, se crea la denominada “John Deere Credit” una división cuyo fin es sufragar la adquisición de equipos para sus clientes.

Con la gran depresión las ventas caen en picado y la compañía pasa uno de sus peores momentos. Sin embargo, en 1940 las explotaciones agrícolas en los Estados Unidos se hacen cada vez más grandes y se reduce el número de jornaleros al haber alrededor de 1,6 millones de tractores agrícolas, casi el doble del total de 1930.

Durante la Segunda Guerra Mundial, John Deere fabrica tractores con fines militares así como munición y piezas para la industria aeronáutica, diversifica sus actividades y produce a su vez lavadoras portátiles y de carga.

En 1956 la compañía estadounidense da un salto a multinacional creando una planta para la producción de tractores en Monterrey (México). Posteriormente sigue su expansión al comprar participaciones en “Lanz” una compañía dedicada a la fabricación de tractores y cosechadores (con una planta situada en España). Así mismo se expande por Francia, Argentina y Sudáfrica, dando el salto hacia tierras australianas en 1959.

Tras cumplir 125 años, John Deere sigue sus pasos de diversificación y entra en el mercado del mantenimiento de césped y jardines. Por otro lado comienza la comercialización de segadoras y maquinaria quitanieves con lo que aumenta su cuota de mercado. En 1987 esta tendencia le llevará a introducir equipos para campos de golf como parte de sus productos.

Se produce un gran avance en 1977 cuando se establece en Waterloo un centro de ingeniería de nuevos productos. John Deere se adapta a las nuevas tecnologías e Internet logrando en 1979 un máximo histórico de 65.392 trabajadores y superando los 5.000 millones de dólares en ventas, con unas ganancias de más de 310 millones de dólares.

En la actualidad, la tendencia al crecimiento continúa y la compañía sigue expandiéndose por países emergentes como China, la India o Turquía.

2.1.2. La empresa

Aunque históricamente la política de la empresa ha sido diversificarse, las divisiones con las que cuenta están íntimamente relacionadas entre sí. Podemos dividir la compañía en 4 sectores o divisiones:

Equipos agrícolas: John Deere está posicionada como la compañía líder en la producción y venta de maquinaria agrícola. Entre sus múltiples productos podemos destacar tractores, cosechadoras, equipos de labranza, así como maquinaria para la recolección de azúcar o algodón.

División de construcción: establecida a mediados de los años cincuenta y conocida como “Equipos Industriales”, esta división ha ido expandiéndose hasta posicionarse como una de las compañías líderes de su sector. Entre sus equipos se pueden encontrar maquinaria destinada al movimiento de tierra, manejo de materiales y mantenimiento de carreteras.

Equipo forestal: supone una división situada entre los equipos agrícolas y de construcción. Podemos encontrar desde tractores para uso no agrícola hasta maquinaria específica para el movimiento de tierras, tala de árboles y manejo de materias.

Jardinería y espacios verdes: con equipo tanto para el sector profesional como particular, equipos para el mantenimiento de campos de golf, así como vehículos utilitarios multiusos.

Por otro lado la compañía cuenta a su vez con divisiones de apoyo como pueden ser: servicios financieros, sistemas energéticos, recambios y soluciones inteligentes.

2.2. John Deere Ibérica S.A.

2.2.1. Historia de Lanz Ibérica

Para comprender la historia de John Deere Ibérica, primero es necesario exponer sus orígenes los cuales se encuentran en la compañía alemana Lanz.

En la década de los años cincuenta España cuenta con un escaso parque de tractores y maquinaria agrícola, por ello el gobierno decide impulsar la mecanización agraria convocando a concurso a empresas interesadas en la fabricación de tractores. Para fomentar la participación, el gobierno declara dicha industria de interés nacional otorgando a las compañías de grandes ventajas como facilidades para la



Figura 4: “Fábrica Lanz Ibérica años 50”

expropiación de terrenos, concesiones en la importación de equipos y cierta exclusividad para el comercio de tractores en el mercado nacional.

A principios de 1953, se firma la concesión con Heinrich Lanz para fabricar bajo licencia sus tractores Lanz Bulldog, naciendo así la sociedad Lanz Ibérica S.A. la cual comienza la construcción de su nueva fábrica en Getafe (Madrid) a principios de 1954 (ver figura 4). El 10 de julio de 1956 sale de las instalaciones el primer tractor de la división española un Bulldog D3806 de 38 CV convirtiéndose en el primer tractor producido en serie en la península. Posteriormente la gama fue ampliada con modelos desde 28 a 65 CV todos ellos de dos tiempos con un solo cilindro montado en posición horizontal. A su vez, este mismo año “Deere & Company” adquiere la participación mayoritaria de la compañía Lanz.

2.2.2. Historia de John Deere Ibérica S.A.

Como ya se ha indicado, en 1956 la compañía John Deere comienza su transformación a empresa multinacional con la adquisición de la empresa alemana Lanz. Con ello parte a su vez la historia de Lanz Ibérica como parte de John Deere.

En el año 1963, la compañía “Deere & Company” se hace con el control mayoritario del fabricante germano y por tanto de la fábrica situada en Getafe. Este año se produce el último tractor Lanz en las instalaciones españolas y sale a su vez de la factoría el primer tractor John Deere, un JD505 con un motor diésel de 4 cilindros y 44 CV. La dualidad entre ambas empresas se mantiene hasta 1965 momento en el que la empresa cambió su nombre por John Deere Ibérica.

A partir de este momento, la renovada fábrica de Getafe se dedica a la producción de tractores John Deere (ver figura 5). Debido a la legislación vigente, la cual obligaba a que el 90% del producto fuese de fabricación española, los tractores contaban con motores Standard Triumph o Perkins. Es en 1969 cuando se produce un tractor íntegramente “verde”, un JD1020 de la serie 20. Posteriormente se siguieron produciendo tractores de la serie 30, 35, 40 y 50.

En 1985 se introduce un cambio esencial para la producción como fue la creación de minifábricas y áreas de producción especializadas en la elaboración de componentes. Este cambio supone un gran avance cuando en 1987 la fábrica pasa a producir componentes para cadenas de montaje de John Deere en el mundo.

Con el fin de abrirse mercado en Europa, “Deere & Company” deciden centralizar en 1992 la producción de tractores. A partir de entonces los nuevos tractores de la serie 6000 se producirán en la factoría alemana de Mannheim, retirando la producción de España. Esta decisión conlleva que en noviembre de 1994 sale el último tractor producido en Getafe, un modelo 2650M de la serie 50.

Desde 1992 hasta la actualidad, John Deere Ibérica se dedica a la fabricación de componentes de alta tecnología que son exportados a factorías de todo el mundo para formar parte las distintas divisiones y productos de “Deere & Company”.



Figura 5: "Inspección de tractores John Deere"

2.2.3. Mercado John Deere Ibérica

John Deere Ibérica destaca como una de las principales empresas exportadoras de España, para ello cuenta con dos ramas principales de actividad: la venta de maquinaria y la fabricación de componentes.

Por un lado encontramos la venta de maquinaria a través de su red de concesionarios, tanto españoles como portugueses. En España se facturaron 2421 tractores en 2013, lo que supone el 29% de las matriculaciones de este tipo de vehículo en dicho año, cifras que ascienden a 8305 tractores, siendo líderes en este mercado. En cuanto a cosechadoras, John Deere se encuentra por detrás de compañías como New Holland o Claas al registrar un porcentaje del 27% de ventas sobre el total de unidades.

Por otro lado, John Deere Ibérica cuenta, como hemos indicado con anterioridad, con una fábrica de componentes situada en Getafe. En este aspecto, la compañía nacional actúa como un proveedor de "Deere & Company" y, como puede observarse en la figura 6, divide el mercado en cuatro regiones:

- **Región I:**
China, India, Sur y este de Asia, África central y del sur
- **Región II:**
Europa, países mediterráneos, Oriente medio y Rusia
- **Región III:**
Sudamérica, América Central y México
- **Región IV:**
Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda y Australia



Figura 6: "Mapa de regiones"

Por lo tanto, la venta de componentes de John Deere Ibérica está íntimamente relacionada con las variaciones registradas en las ventas de producto final a nivel mundial.

En cuanto a los resultados obtenidos en ejercicios anteriores, John Deere Ibérica finalizó el año fiscal de 2013 con un excedente de 40,2 millones de euros, lo que supone un crecimiento del

42% respecto a 2012, y unos ingresos de 622 millones. Estos resultados están alineados con los balances de “Deere & Company” que registró un crecimiento del 15% en ventas e ingresos.

Actualmente el objetivo de la compañía es expandirse en el mercado global así como lograr una mayor rentabilidad. Como indica su lema *“Los pies sobre la tierra, la mirada en el horizonte”*, John Deere basa su estrategia en cuidar al cliente y la calidad del producto pero, a su vez, en expandirse y crear productos nuevos e innovadores para el sector.

2.2.4. Organización de la fábrica

Con cerca de 1200 empleados, las instalaciones de Getafe ocupan una superficie aproximada de 60.000 m² sobre un área de 20 hectáreas de parcela, pudiendo distinguir dentro de la misma 4 divisiones de producción o minifábricas (ver figura 7).



Figura 7: “Vista aérea de la fábrica”

a) Ejes y Engranajes

Desde motores hasta pequeñas transmisiones de cortacésped, pasando por cajas de cambio de más de cien kilogramos, podemos encontrar estos elementos formando parte de una infinidad de productos de John Deere.

La división de ejes y engranajes se encarga de la producción de estos componentes mediante sistemas de mecanizado de precisión a partir de piezas de forja y aceros de alta calidad. Todos los procesos cumplen un control de calidad continuo y estricto que se extiende al posterior tratamiento térmico.

Debido a la diversidad de su producción, esta minifábrica actúa como proveedor de piezas para las divisiones de John Deere en Dubuque y Waterloo (EE.UU.), Saran (Francia), Torreón

(México) y Rosario (Argentina). Por otro lado supone un proveedor interno que abastece a las otras minifábricas de Getafe.

b) Cajas Ligeras

La denominación de Cajas Ligera viene determinada por el peso de los productos que en ella se montan ya que se tratan de transmisiones o cajas de cambio con un peso inferior a los 100Kg.

Podemos encontrar estos componentes en multitud de productos de la compañía, principalmente en cabezales para cosechadora, los cuales varían según el tipo de producto a recoger (grano, maíz, algodón, etc.).

Siguiendo los estrictos controles de calidad, el 100% de los productos son probados una vez finalizado el montaje y antes de pasar a pintura mediante los diferentes bancos de ensayos adaptados a cada componente. Así mismo, se pueden encontrar células de mecanizado que abastecen a la propia minifábrica.

Aunque existen diferentes modelos, representados en la figura 8, los principales productos son:

ROW UNIT:

Mediante el movimiento de unos rodillos con cuchillas (rolos espigadores) que giran en sentido opuesto, esta transmisión se encarga de sujetar, bajar y tronzar la planta tras su corte por la base. A su vez, transporta las mazorcas mediante las placas espigadoras y las cadenas alzadoras hacia un tornillo sin fin que se encuentra en el cabezal para introducirlo en el interior de la cosechadora.

CHOPPER:

Se monta junto a la "Row Unit" y su función es la de cortar la planta por la base mediante unas cuchillas. Esta unidad se encuentra en cabezales para recolección de maíz.

KNIFE DRIVE:

Esta transmisión se monta en cabezales para cereal de grano fino. Su función es la de mover la barra de corte del cabezal y, por lo tanto, separar el cultivo de la parte que se introduce en la máquina. Tras su corte, los cereales son empujados hacia el centro del cabezal.

2 SPEED:

Controla el movimiento del cilindro de trilla axial encargado de separar el grano de la paja en el interior de la cosechadora.

LOADING AUGER:

Esta transmisión da movimiento al sistema que eleva el grano limpio del interior de la máquina a la parte superior donde se encuentra el tanque de almacenamiento.

STRAW WALKER:

En las cosechadoras con sistemas de trilla convencional y menor tamaño, la transmisión se encarga de controlar el movimiento de este sistema para la separación del grano.

UNLOADING AUGER:

Transmite el movimiento del tornillo sin fin encargado de vaciar el depósito de grano almacenado en la cosechadora.

PICKING UNIT:

Solo se encuentra en las cosechadoras de algodón. Cada hilera de recolección del cabezal cuenta con una unidad recogedora cuya velocidad es determinada por esta transmisión.



Figura 8: "Expositor de piezas Cajas Ligeras"

c) Mandos Finales

El mando final es el último mecanismo reductor que encontramos en el sistema de transmisión de potencia, es decir, reduce la velocidad proveniente de la transmisión y aumenta el par, transfiriendo la fuerza directamente a las ruedas motrices. Dentro de la variedad de modelos, podemos encontrar este elemento en maquinaria tanto agrícola como de construcción.

En la minifábrica también se producen enganches tripulantes como barras de tiro y estabilizadores para tractores.

A continuación se presentan los principales productos ensamblados en la minifábrica, los cuales pueden verse en la figura 9:

CRAWLER:

Es el sistema reductor que se encarga de transmitir la potencia a las orugas en los vehículos de la división de construcción.

REAR SPINDLE:

Se trata del mando final que transmite la potencia a las ruedas traseras de la cosechadora, que son las encargadas de la dirección.

FINAL DRIVE:

Transmite el par a las ruedas delanteras de la cosechadora que son las encargadas de la motricidad. La transmisión sometida a estudio va unida a este elemento a través de los ejes de salida.

SPRAYER:

Se encarga de la aspersión de herbicidas, fertilizantes, etcétera, en los campos de cultivo.

JACK SHAFT:

Se encarga de dar movimiento al sistema de alimentación situado en la parte frontal de la cosechadora, transportando el grano desde la salida del cabezal hasta la entrada del sistema de separación.

SUGAR CANE:

Mando final que se encuentra en las cosechadoras de azúcar.

SKID STEER:

Reductor unido a las ruedas de excavadoras de pequeño tamaño.

MOWER CONDITIONERS:

Transmisión de pequeño tamaño que se encuentra en un elemento con el mismo nombre empleado en el campo para alinear el forraje antes de ser empacado.

SQUARE BALERS:

Caja de engranajes que forma parte de un sistema para el empacado de heno o alfalfa.

HORICON:

Similar a la “Knife Drive” pero de pequeño tamaño, esta caja de engranajes se encarga del movimiento de las cuchillas en algunos modelos de cortacésped.



Figura 9: “Expositor de piezas Mandos Finales”

d) Cajas Pesadas

Se denominan cajas pesadas a aquellas transmisiones cuyo peso excede los 100 Kg. Todas las cajas que se producen en esta factoría se destinan a la división agrícola, en concreto para cosechadoras de cereales, algodón, caña de azúcar y forraje, construidas en Harvester (EE.UU.), Thibodaux (EE.UU.), Des Moines (EE.UU.), Jiamusi (China), Horizontina (Brasil) y Zweibrücken (Alemania).

La minifábrica cuenta con cuatro líneas de montaje (una por tipo de producto), una línea de pintura altamente automatizada y cinco células de mecanizado en las que se producen piezas

para las transmisiones. Al igual que se realiza en el resto de minifábricas, y siguiendo los estrictos criterios de calidad, el 100% del producto es ensayado y sometido a pruebas similares a las condiciones de funcionamiento antes de pasar al área de pintura.

Como puede verse en la figura 10, entre los modelos que se producen se encuentran:

MAIN PTO:

La entrada de esta transmisión se encuentra unida a la salida del motor y su función es la de repartir la potencia a las diferentes partes de la cosechadora mediante un complejo sistema de poleas y engranajes, todo ello unido al circuito hidráulico principal.

5 SPEED:

Es el equivalente del Jack Shaft, es decir, se encarga de controlar la velocidad del alimentador al sistema de trilla, por lo tanto determina la velocidad a la que el producto entra en la cosechadora. La diferencia entre ambos mecanismos reside en la complejidad de la tecnología ya que la denominada 5 velocidades es una transmisión más avanzada y que permite un mayor control.

3V/PBST:

Es el equivalente a la caja de cambios de un vehículo convencional. En el modelo 3 velocidades el cambio se realiza de forma manual mediante una palanca de cambio; por el contrario, el sistema PBST ofrece un cambio por botón de 3 velocidades y freno de estacionamiento al accionarse electrohidráulicamente. En ambos modelos es necesario detener la cosechadora para poder realizar el cambio de marcha.

PRODRIVE:

Cumple la misma función que la transmisión 3V/PBST pero se corresponde con el modelo de altas especificaciones. Es una transmisión de dos velocidades, las cuales se pueden variar sin necesidad de detener la maquinaria.

Este sistema encargado de la motricidad se corresponde con el producto sometido a estudio en los próximos capítulos.

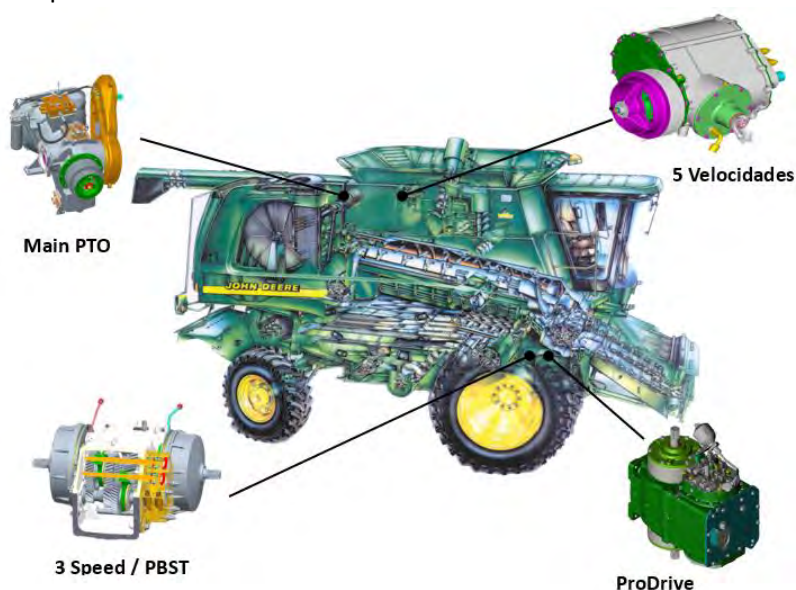


Figura 10: "Transmisiones montadas en Cajas Pesadas"

Capítulo III: Introducción a las transmisiones mecánicas y elementos de unión

Dado que el equipo bajo estudio se trata de una caja de cambios automática con diferencial integrado, el presente capítulo pretende ser una introducción descriptiva y funcional de los diferentes modelos de transmisiones y mecanismos diferenciales.

Posteriormente se presentan los principales mecanismos de unión mecánica, algunos de los cuales se emplean en la línea de producción de la transmisión, para centrarse especialmente en la unión atornillada al tratarse del principal sistema de unión empleado en el ensamblado de la transmisión para cosechadora ProDrive.

3.1. Fundamento teórico de cajas de cambios

La caja de cambios es un mecanismo encargado de desmultiplicar el giro del motor aprovechando y regulando así la energía suministrada, ya sea en forma de par o de velocidad angular. Las funciones de este elemento son:

- Conseguir que el motor funcione a pleno rendimiento
- Adaptar la fuerza en las ruedas a las condiciones necesarias
- Interrumpir la transmisión de fuerza a las ruedas sin tener que detener el motor o hacer uso del embrague
- Invertir el giro procedente del motor para hacer retroceder al vehículo

Este elemento se encuentra intercalado entre el motor y las ruedas permitiendo variar la velocidad del vehículo, adaptándola a las condiciones de marcha, mientras el régimen de giro del motor se mantiene en las condiciones óptimas de funcionamiento. A través de este sistema se consigue que la velocidad de giro del cigüeñal pueda convertirse en distintas velocidades de giro en las ruedas.

Internamente, una caja de cambios consta de una serie de ejes y engranajes, lubricados por un aceite similar al del motor. Por un lado, se encuentra anclada al motor y recibe el movimiento a través del embrague (transmisiones manuales) o del convertidor de par (transmisiones automáticas). A la salida se encuentra el resto del sistema de transmisión.

3.2. Tipos de cajas de cambio

Actualmente existe una gran variedad de sistemas de transmisión, lo que conlleva diferentes tipos de clasificación según el tipo de engranajes, tipo de embrague, sistema de accionamiento, etc. Para mayor claridad y sencillez en la explicación se emplea una clasificación según el tipo de accionamiento.

3.2.1. Cajas de cambio manuales

Basándonos en la clasificación por tipo de accionamiento, las cajas de cambio manuales son aquellas en las que las diferentes velocidades se seleccionan mediante un mando mecánico. Así mismo, las cajas manuales son de tipo mecánico, es decir, los elementos estructurales o funcionales son de tipo mecánico.

Las actuales cajas de cambios manuales son principalmente de dos tipos:

De tres ejes: un eje primario recibe el par del motor a través del embrague y lo transmite a un eje intermedio; éste a su vez lo transmite a un eje secundario de salida, coaxial con el eje primario, que acciona el grupo diferencial.

Estas cajas de cambio están diseñadas generalmente para vehículos de propulsión trasera. Se sitúan en la parte central de vehículo sobre su eje longitudinal. Tienen el inconveniente de ser transmisiones muy voluminosas pero, al transmitir el par a través de tres ejes, los esfuerzos en los engranajes son menores y el diseño de los elementos puede realizarse en materiales de calidad media.

Otra posibilidad que se encuentra en el mercado son cajas de tres ejes, como puede observarse en la figura 11, dos de los cuales son secundarios. Este diseño permite obtener un conjunto más compacto para poder montarlo en vehículos de tracción delantera (cajas transversales).

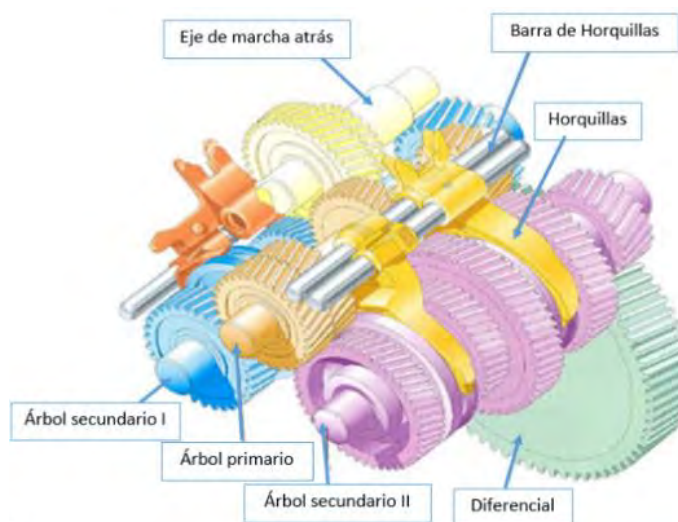


Figura 11: "Transmisión manual de tres ejes"

De dos ejes: como ilustra la figura 12, un eje primario recibe el par del motor y lo transmite de forma directa a uno secundario de salida de par que acciona el grupo diferencial.

Este tipo de transmisión se ha desarrollado principalmente para vehículos de tracción delantera debido a su tamaño reducido y compacto (caja de cambios con grupo cónico y diferencial). Su menor volumen se debe a que el diferencial se encuentra integrado en la caja de cambios. A diferencia de la transmisión de tres ejes, los trenes de engranajes soportan cargas más elevadas por lo que es preciso emplear materiales de mayor calidad.

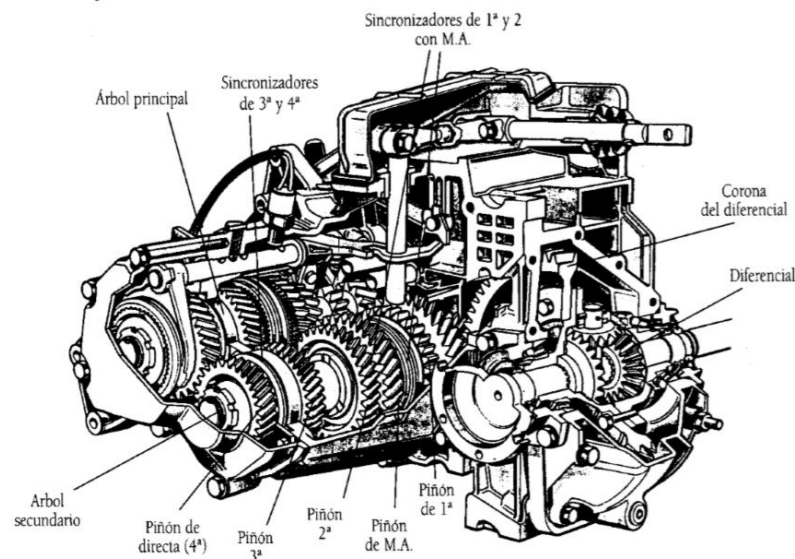


Figura 12: "Transmisión manual de tres ejes con diferencial integrado"

Actualmente en ambos tipos de transmisiones los engranajes utilizados son de dentado helicoidal. Este tipo de dentado presenta la ventaja de que la transmisión de par se realiza simultáneamente a través de dos dientes en lugar de uno, como ocurre con el dentado recto. Otra ventaja de los engranajes helicoidales reside en que la longitud de engrane y la capacidad de carga es mayor. Estas características se traducen en una mayor suavidad en la transmisión y en una disminución de ruido.

Elementos de la caja de cambios manual

A continuación se exponen los elementos que componen una caja de tres ejes, toma constante y cambios sincronizados.

- Eje primario: recibe el movimiento del embrague. Generalmente está compuesto de un piñón solidario, denominado piñón de arrastre, que transmite el movimiento al eje intermedio.
- Eje intermedio: está constituido por un piñón conducido por el eje primario con el que engrana. A su vez cuenta con una serie de piñones solidarios cuyas dimensiones y número de dientes aumenta cuanto más larga es la velocidad. El número de piñones se corresponde con el número de velocidades del vehículo (incluida la marcha atrás). Gira en sentido contrario al motor.
- Eje secundario: sostiene un conjunto de piñones que no son solidarios al eje ya que giran locos sin transmitir movimiento. Estos piñones cuentan con un dentado en su periferia que acopla con el del sincronizador. Al contrario que sucede en el eje intermedio, cuanto más larga es la velocidad menor es el diámetro y el número de dientes de los piñones.
- Eje de marcha atrás: consta de un piñón que al interponerse entre el piñón fijo (eje intermedio) y el loco (eje secundario) invierte el sentido de giro a la salida.

- Mando de cambio: permite al conductor seleccionar la marcha deseada en cada momento.
- Caja o cárter: sirve tanto de soporte estructural para los diferentes elementos (ejes, rodamientos, cojinetes, etc.) como de protección de la caja de cambios. También evita fugas de aceite o entrada de elementos extraños que puedan dañar el sistema.
- Sensores: cada modelo cuenta con una serie de sensores que proporcionan o recogen información de la caja de cambios como puede ser la velocidad del vehículo, marcha seleccionada, lubricación, etc.
- Conjunto de sincronización: generalmente uno para cada dos velocidades. Gira solidario con el eje secundario y su función es la de igualar la velocidad del eje con la del piñón loco a enclavar, el cual gira a la velocidad del eje intermedio, para fijar una marcha. Cada conjunto está formado por un buje, solidario al eje, al que se le unen dos anillos de sincronización, un collarín o desplazable y un sistema de fijación para unir el conjunto.
- Sistema de seguridad: evita que se puedan seleccionar dos velocidades simultáneamente.
- Conjunto de horquillas y ejes: permiten el accionamiento de los sincronizadores desplazándolos axialmente al seleccionar una marcha.
- Mecanismo de retención: sistema que fija la horquilla e impide que las velocidades (una vez seleccionadas) puedan salirse.

Funcionamiento elemental

El primer paso para la selección de una marcha consiste en accionar el embrague. Este primer paso es necesario para desacoplar el eje primario del motor interrumpiendo así la transmisión de potencia a la caja de cambios. Este paso es indispensable para evitar posibles daños en los engranajes.

A continuación, el piloto selecciona la marcha deseada en función de las necesidades del vehículo; para ello, desplaza la palanca de cambios la cual acciona el movimiento de las horquillas. Las horquillas se encargan de trasladar axialmente el conjunto de sincronización el cual fijará la marcha indicada.

El conjunto de sincronización actúa en dos pasos. En primer lugar, cuando el sincronizador se desplaza hacia el piñón libre de la velocidad seleccionada, el cono del desplazable entra en contacto con el cono primario del piñón loco. Si las velocidades de ambos elementos son diferentes, se produce una fricción entre ambos dando lugar a un par resistente, dicho par hace que las velocidades de rotación de ambos elementos se igualen. A continuación se produce la segunda fase en la cual el desplazable o corona (impulsado por la horquilla) desliza sobre el buje del sincronizador y engrana con el dentado exterior del piñón loco. Ambos elementos, piñón y sincronizador, quedan unidos solidariamente gracias a la corona.

Por último, cuando se deja de accionar el embrague, el eje primario conecta con la salida del motor y, en estas condiciones, al estar el piñón loco solidario al eje secundario, éste será arrastrado por el giro del motor con la relación seleccionada.

Aunque existen diferentes diseños, la figura 13 ilustra el proceso anteriormente descrito.

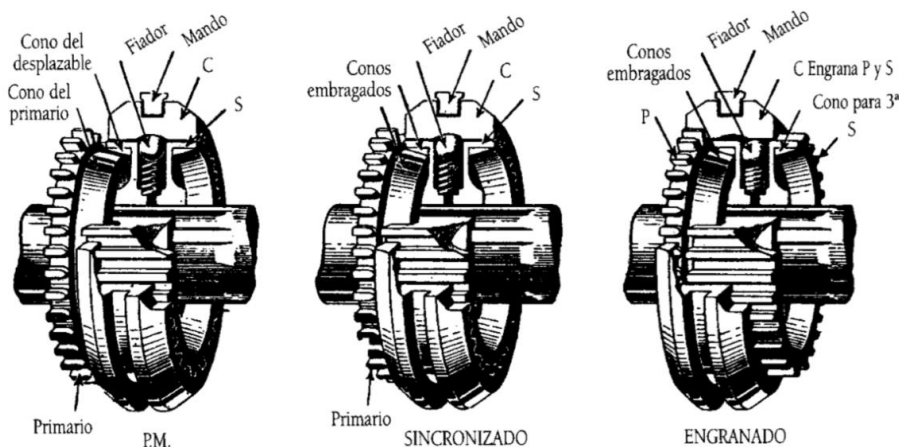


Figura 13: “Proceso de sincronización caja de cambios”

Las diferentes velocidades varían en función de la relación transmisión, es decir, entre la relación de tamaño y número de dientes del piñón conducido y el conductor. Si el piñón conducido tiene más dientes que el piñón conductor se consigue un aumento de par a la salida y, por lo tanto, una mayor fuerza en las ruedas. Estas relaciones vienen definidas por la siguiente ecuación:

$$\frac{n_e}{n_s} = \frac{Z_e}{Z_s} = \frac{D_s}{D_e} = R$$

A medida que se seleccionan velocidades más largas, la relación de transmisión aumenta, lo que se traduce en una disminución de las desmultiplicaciones, un aumento de la velocidad del vehículo y una disminución de la fuerza.

3.2.2. Cajas de cambio automáticas o hidromáticas

La principal característica de las cajas de cambio automáticas reside en que no precisan de la intervención del conductor, salvo para indicar el sentido de la marcha o estacionar. Por lo tanto, este sistema determina de manera autónoma la marcha más adecuada para cada situación. El cambio de una relación a otra se produce en función tanto de la velocidad del vehículo como del régimen de giro del motor. En los vehículos con este tipo de transmisión, el conductor no necesita ni pedal de embrague ni palanca de cambios. En lugar de estos elementos, encontramos un convertidor de par y una palanca selectora.

Quando el conductor pisa el pedal del acelerador se produce un cambio automático según el régimen de giro del motor aumente. Este hecho supone un avance no solo en confort si no en seguridad activa, ya que el conductor puede prestar total atención al tráfico.

Como se expone más adelante, las relaciones de transmisión se consiguen mediante un sistema de trenes epicicloides, en serie o en paralelo, precedido de un embrague hidráulico o convertidor de par.

Elementos de la caja de cambios automática

Los elementos fundamentales que componen la mayoría de los cambios automáticos actuales son:

Convertidor de par: se encuentra situado entre la transmisión y el motor. Es el equivalente al embrague clásico ya que cumple su misma función, conectar y desconectar la transmisión del motor. A diferencia de embrague (tanto hidráulico como mecánico), el convertidor de par ajusta de forma automática su par de salida al par que necesita la transmisión.

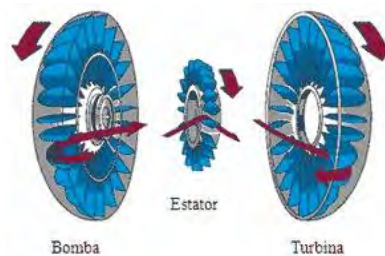


Figura 14: "Convertidor de par"

Como puede observarse en la figura 14, está compuesto por tres elementos principales: bomba, estator y turbina, cuya función se detalla más adelante.

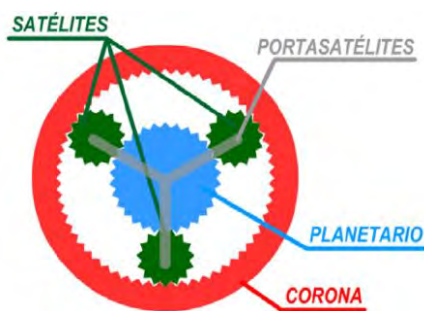


Figura 15: "Tren epicycloidal"

Tren epicycloidal: establece las distintas relaciones del cambio. Está formado por un piñón planetario que engrana con dos o tres piñones satélite (ver figura 15). Estos satélites, que tienen sus ejes unidos entre sí por medio de un portasatélites acoplado al eje secundario, engranan a su vez con una corona de dentado interno.

Conjunto de frenos y embragues: controlan los movimientos de los distintos elementos de los engranajes.

Mecanismo de mando: selecciona automáticamente las relaciones de engrane de los trenes epicycloidales mediante el accionamiento de los elementos hidráulicos. El accionamiento puede ser mecánico, hidráulico, electrónico o una combinación de ellos.

Elementos hidráulicos: entre los que encontramos la bomba de aceite, el distribuidor hidráulico y las válvulas de pilotaje.

Carcasa: proporciona soporte y estanqueidad al sistema.

Funcionamiento elemental

A continuación se explica el funcionamiento básico de una transmisión automática de tren epicycloidal.

En primer lugar, el conductor debe seleccionar en la palanca selectora la necesidad de marcha. De forma general en la palanca se pueden encontrar las siguientes posiciones:

- **P:** Significa estacionamiento (Parking). Inmoviliza el vehículo.
- **N:** Es el equivalente al punto muerto en una caja de cambios manual. Permite acelerar el motor pero no hay transmisión de par a las ruedas.
- **R:** Indica que el sentido de marcha deseado es marcha atrás.
- **L:** Únicamente actúan las marchas cortas, generalmente, primera y segunda. En algunos modelos podemos encontrar, en lugar de esta posición, números que indican el número de marchas que actúan.
- **D:** Posición directa. Se trata de la conducción normal automática en la que entran en juego todas las marchas.

Al poner en marcha el vehículo el giro del cigüeñal se transmite a la bomba, la cual se pone en movimiento, arrastrando por el movimiento del aceite a la turbina. Dado que la turbina gira libre, no se transmite potencia al resto de la transmisión.

Cuando el piloto selecciona la posición de marcha, el eje de la transmisión queda solidario a la turbina y su movimiento se detiene. Estando el motor a ralentí este movimiento no genera suficiente fuerza como para poner en movimiento el vehículo.

Una vez el piloto comienza a pisar el acelerador, el motor aumenta la velocidad de giro de la bomba. Este giro produce un impulso del aceite desde la bomba a la turbina que comienza a girar y transmite el impulso motor a la transmisión. A la salida de la turbina el aceite pasa por el estator (fijo en este momento), el cual orienta esta corriente de vuelta a la bomba incrementando su velocidad. De esta forma, mientras exista una diferencia de velocidad entre ambos elementos (bomba y turbina) el par será mayor en la turbina que en la bomba. Conforme las velocidades se igualan, la diferencia de par entra la salida y la entrada también disminuye. Cuando finalmente las velocidades se han igualado (punto de embrague), el reactor comienza a girar en el mismo sentido que turbina y bomba interrumpiéndose el empuje adicional que creaba. El circuito de circulación del aceite en el interior del convertidor de par puede observarse en la figura 16.



Figura 16: "Flujo interno en el convertidor de par"

En cuanto a la relación de transmisión, como se ha indicado antes, se consigue mediante los trenes epicicloidales. Con un solo engranaje planetario, y un sistema de embragues y frenos, se pueden conseguir cuatro relaciones de marcha, tres de avance y una de marcha atrás. El funcionamiento, representado en la figura 17, es el siguiente:

1ª relación: el movimiento entra por el planetario mientras la corona permanece bloqueada. Los satélites giran lo que produce movimiento en el portasatélites. Como resultado, se obtiene una desmultiplicación del giro del motor al girar el portasatélites más lento que el planetario.

2ª relación: la potencia del motor se transmite a la corona y el planetario se frena. Los satélites son arrastrados por el movimiento de la corona lo que produce el giro del portasatélites. Se produce una desmultiplicación del giro pero menor que en el caso anterior.

3ª relación: para conseguir la relación más alta, la potencia del motor entra al planetario y a la corona (unidos solidariamente por un embrague). En este caso todo el conjunto gira simultáneamente. Esta combinación da lugar a una relación directa al girar todo el conjunto a la misma velocidad.

Marcha atrás: la potencia del motor pasa al planetario, mientras el portasatélites se bloquea haciendo girar los satélites sobre su propio eje. El movimiento de los satélites provoca la rotación de la corona en sentido inverso al de la marcha. Por otro lado, y como ocurre en las relaciones cortas, se produce una gran desmultiplicación.

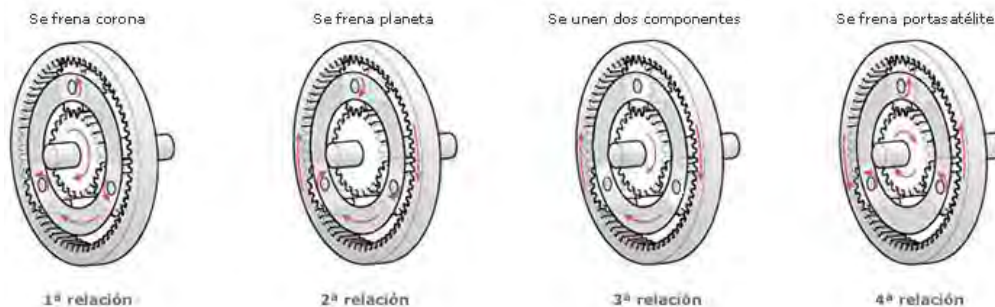


Figura 17: "Relaciones de transmisión en un tren epicycloidal"

Como se ha indicado, las transmisiones automáticas suelen estar constituidas por varios juegos de planetarios con diferentes relaciones entre uno y otro. La combinación de este conjunto de trenes da lugar a cambios con seis o más marchas

Es importante destacar que el corazón del sistema automático reside en los sensores y actuadores distribuidos por la transmisión, los cuales proporcionan datos al ordenador (velocidad del vehículo, revoluciones del motor, posición del acelerador, posición del mando etc.). Con estos datos el vehículo decide cual es la relación de transmisión correcta y, a su vez, hace que el motor trabaje en las condiciones óptimas.

3.2.3. Cajas de cambio manual pilotada

También denominada caja de cambios manual robotizada, se trata de una tecnología cada vez más extendida que se encuentra entre el cambio automático y el manual.

Aunque suelen clasificarse como transmisiones automáticas, estructuralmente la caja robotizada se asimila a una transmisión manual al estar constituida por trenes de ejes paralelos helicoidales, un sistema de cambio mediante sincronizadores y un conjunto de horquillas. Sin embargo, este nuevo sistema robotizado permite, a parte de un cambio manual, un cambio totalmente automático. Con esta combinación se logran aunar las ventajas del cambio manual y del automático en una misma transmisión.

En relación a la mecánica, destacan actualmente las cajas de doble embrague o embrague dual. Por ejemplo, en el sistema DSG desarrollado por Volkswagen, un embrague controla las relaciones impares y el segundo las pares. Esto se consigue gracias a una combinación de ejes, dos ejes primarios y dos ejes secundarios, pudiendo asemejar este sistema a dos cajas de cambios diferentes. En este tipo de cambios se engranan dos marchas simultáneamente, una

par y otra impar, haciendo que una transmita el movimiento al grupo y la otra permanece en espera para ser engranada por su correspondiente embrague, haciendo que el cambio sea rápido y suave.

El cambio de velocidad se puede realizar de modo automático o manual indirecto. En el primer caso el vehículo decide de forma autónoma, como sucede en una transmisión automática convencional, la relación más adecuada para cada situación. El cambio manual indirecto permite que el piloto seleccione la marcha mediante un sistema secuencial de cambio. A diferencia de una transmisión manual, el cambio de velocidad no se realiza de forma mecánica directa, si no que un sistema electrónico e hidráulico controla el cambio mediante los embragues anteriormente descritos, es decir, el piloto decide cuando cambiar de marcha pero el cambio lo realiza el vehículo.

La siguiente ilustración (figura 18) muestra la configuración interna de una transmisión manual pilotada:

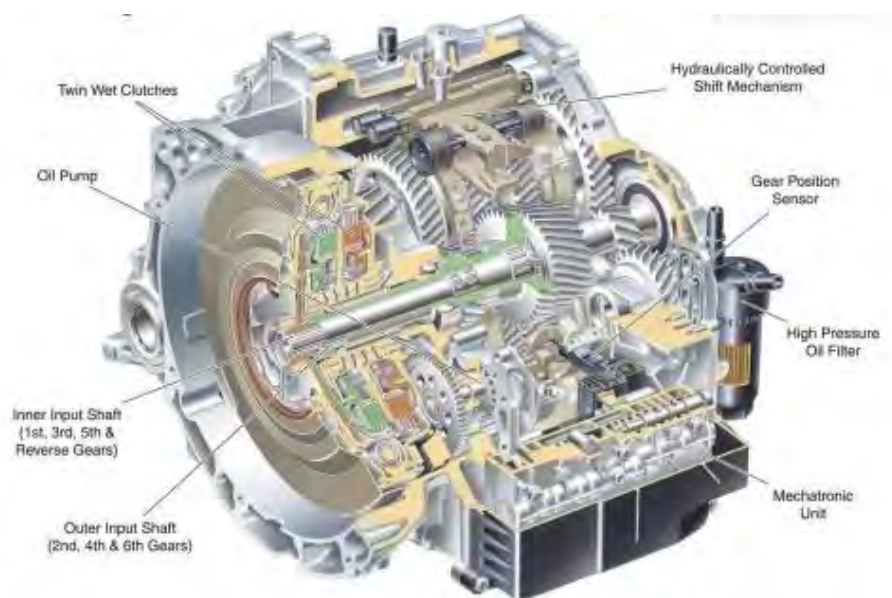


Figura 18: "Transmisión manual pilotada"

Actualmente las cajas de cambio robotizadas son cada vez más comunes en el mercado del automóvil al proporcionar la comodidad de una transmisión automática pero sin el inconveniente de un mayor consumo de combustible o lentitud en la respuesta. Además permite mantener la sensación de control en el modo manual al poder seleccionar la marcha deseada.

3.3. Mecanismo diferencial

El diferencial es un mecanismo formado por un conjunto de engranajes cuyo objetivo es permitir que las ruedas motrices de un vehículo puedan girar a distintas revoluciones. La necesidad de este elemento en la transmisión se hace patente cuando un vehículo toma una curva. Durante el giro, las ruedas exteriores tienden a acelerarse para compensar la diferencia de distancia recorrida, es decir, las ruedas exteriores deben recorrer una mayor distancia que las interiores en un mismo periodo de tiempo. Por lo tanto, cuando el automóvil está

describiendo una trayectoria curva, el diferencial consigue que la rueda interna a la curva gire con menor velocidad mientras que la externa aumente su velocidad, evitando de este modo el deslizamiento de los neumáticos o una desviación de la trayectoria.

En un eje motriz rígido, sin diferencial, las ruedas reciben la potencia del motor a través de la caja de cambios y ambas giran solidarias, a la misma velocidad. Por el contrario, las ruedas del eje no motriz no presentan ningún problema bajo este punto de vista ya que, al no estar conectadas al motor, puede permitirse que cada una gire libremente sobre su eje. Por lo tanto, es imprescindible situar un diferencial en cada eje motriz para permitir que las ruedas puedan girar de manera independiente.

Como se ha indicado, el diferencial se sitúa en los ejes motrices pero hay otros elementos a tener en cuenta. Por ejemplo, podemos encontrar el diferencial como un elemento interno de la caja de cambios. Esta configuración se puede encontrar en vehículos de caja transversal cuando la tracción está situada en el mismo lugar que el motor. Si por ejemplo, el automóvil es de tracción trasera pero tiene el motor en la parte delantera y una caja de cambios longitudinal, el diferencial se encuentra como elemento independiente en el eje motriz trasero.

Los mecanismos diferenciales se clasifican principalmente en tres grupos: convencionales o libres, bloqueables y autoblocantes. Su funcionamiento y elementos se exponen a continuación.

3.3.1. Diferencial mecánico libre o convencional

Se denominan diferenciales libres a aquellos que no disponen de sistemas de bloqueo en caso de pérdida de tracción en una de las ruedas.

Las partes principales, representadas en la figura 19, de un diferencial convencional son:

- Piñón de ataque: transfiere el movimiento desde el motor a la corona.
- Corona dentada: engrana con el piñón de ataque.
- Caja: solidaria a la corona.
- Piñones satélites: solidarios a la caja del diferencial.
- Piñones planetarios: engranan con los piñones satélites.
- Semiejes: se acoplan a los piñones planetarios y giran solidarios con ellos.

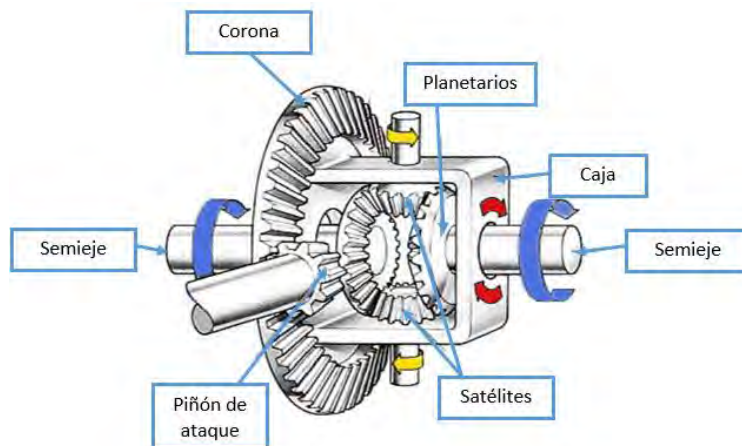


Figura 19: "Partes de un diferencial convencional"

Funcionamiento

El piñón de ataque transfiere a la corona el par que ha recibido de la transmisión, con ello, la corona con todo el conjunto de la caja comienza a rotar arrastrando en su movimiento los piñones satélite. Como los planetarios están engranados a los satélite el giro de uno provoca el giro del otro, en consecuencia, cuando giran los satélites giran los planetarios, lo que hace girar los semiejes o palieres en el mismo sentido y con igual velocidad cuando el vehículo circula en línea recta.

Sin embargo, cuando el automóvil realiza un giro o toma una curva, la rueda interna ofrece una resistencia al giro, lo que se traduce en una frenada del palier y el planetario conectado a dicha rueda. Al reducirse la velocidad de giro de un planetario los satélites tienden a rodar sobre él, multiplicando el giro en la rueda exterior, de este modo, lo que se pierde en giro en una de las ruedas lo gana automáticamente la otra.

Este sistema presenta como inconveniente que, cuando una de las ruedas pierde adherencia o contacto con el suelo, el movimiento, y con ello la transmisión de par, recorrerá el camino de menor resistencia. Este hecho hace que la fuerza motriz valla a la rueda que desliza, lo que se traduce en una pérdida de adherencia del automóvil. Para solucionar este problema y asegurar una mayor adherencia se han desarrollado los diferenciales bloqueables o autoblocantes.

3.3.2. Diferenciales bloqueables

Los diferenciales bloqueables son aquellos que funcionan, de manera permanente o temporal, como un eje solidario. A diferencia de los autoblocantes, el mecanismo de bloqueo se activa de forma manual por intervención del piloto.

Este tipo de diferencial se emplea en condiciones adversas de adherencia. Su activación solo se puede realizar cuando el vehículo circula a baja velocidad ya que a elevada velocidad o pavimentos con buena adherencia se pueden crear inestabilidades y daños en la mecánica del automóvil.

Actualmente este sistema se emplea poco en turismos al ser sustituido por los sistemas autoblocantes, empero, aún se pueden encontrar diferenciales de bloqueo manual en ciertos vehículos todo terreno.

3.3.3. Diferenciales autoblocantes

Los diferenciales autoblocantes buscan un equilibrio entre el diferencial libre y el bloqueable. Su función se basa en limitar la posibilidad de que una rueda gire libre y, por lo tanto, como en un diferencial convencional toda la potencia del motor se reparta a la rueda de menor resistencia.

Mientras las condiciones de adherencia sean las adecuadas, el diferencial permanece libre, como un diferencial convencional. En caso de que se detecte una variación de la velocidad entre las ruedas motrices, el diferencial queda parcialmente bloqueado derivando la potencia entre las ruedas según un tarado. Este tarado representa una relación porcentual en la que el

cero corresponde a un diferencial libre y el cien por cien cuando el diferencial está bloqueado por completo.

En la actualidad, los diferenciales autoblocantes han sido desplazados por los controles de tracción electrónicos. Estos sistemas detectan la rueda que patina, actúa sobre la misma frenándola y manda el exceso de par a la otra rueda, de igual manera que haría un diferencial autoblocante; además el control de tracción disminuye la potencia del motor si el efecto de frenar una rueda no es suficiente.

Los diferenciales autoblocantes se siguen encontrando en vehículos de altas prestaciones o vehículos de competición ya que eliminan carga a los frenos y aumentan la capacidad de transmisión de potencia.

A continuación se presentan los modelos más comunes de diferencial autoblocante.

3.3.3.1. Diferencial autoblocante por discos de fricción

En este tipo de diferencial (ver figura 20) se emplea un conjunto de discos de fricción precargados que unen el palier con el planetario. Estos discos constituyen un embrague que permite bloquear los dos semiejes de los palieres bajo determinadas condiciones de funcionamiento.

Cuando una de las ruedas patina, el palier tiende a desplazarse axialmente lo que provoca que los discos entren en contacto. Este contacto da lugar a una fricción entre las superficies aumentando la resistencia de dicho semieje, transmitiéndose el par por el planetario de menor resistencia que es el de mayor tracción.

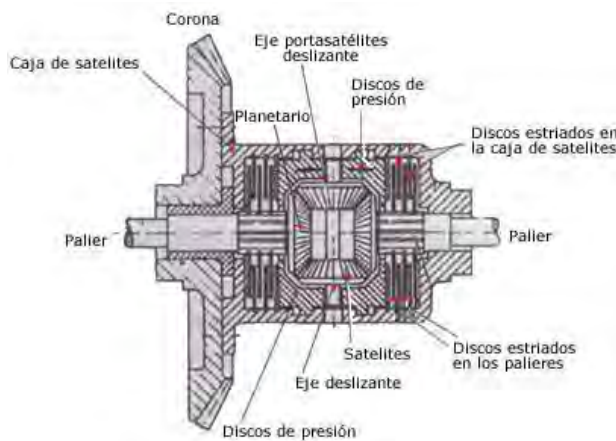


Figura 20: "Diferencial por discos de fricción"

3.3.3.2. Diferencial autoblocante por conos de fricción

El funcionamiento del diferencial por conos de fricción se basa en los mismos principios que el diferencial por discos de fricción. En este caso los discos son sustituidos por unos conos que realizan la función de embrague.

3.3.3.3. Diferencial viscoso o Ferguson

Conocido también como diferencial de acoplamiento viscoso, se basa en la utilización de un fluido de alta viscosidad denominado aceite silicona. Los dos semiejes o palieres están conectados entre ellos y con el resto de la transmisión a través de un diferencial libre al que se le añade este dispositivo. Su utilización más común es como diferencial central en vehículos de tracción a las cuatro ruedas, donde una parte del conjunto se une al eje trasero y la otra al eje delantero.

En cuanto a su composición, como puede observarse en la figura 21, el diferencial está formada por una carcasa, solidaria al eje de entrada, que encierra unos discos. Los discos se encuentran muy próximos entre ellos pero no entran en contacto. Alternativamente los discos están unidos a la carcasa y al denominado portadiscos, un elemento solidario al eje de salida. El conjunto es hermético y se encuentra relleno de una mezcla de aceite silicona y aire.



Figura 21: "Diferencial Ferguson"

Cuando uno de los ejes pierde tracción se genera un deslizamiento entre los discos y dando lugar a unas tensiones de cortadura en el fluido que incrementan la temperatura interna; el incremento de temperatura conlleva una expansión del fluido así como un aumento de su viscosidad, lo que hace que el sistema gire solidario.

3.3.3.4. Diferencial Torsen

La principal peculiaridad del diferencial Torsen radica en el hecho de repartir la fuerza del motor a las ruedas independientemente de la velocidad de rotación de cada palier, es decir, la acción diferencial es totalmente autónoma de la transmisión de par.

Los elementos que lo componen tienen una configuración similar a un diferencial convencional. El diferencial Torsen cuenta con: una corona, caja de diferencial, satélites y planetarios. En este caso los planetarios tienen una geometría de tornillo sin fin (ver figura 22) que puede provocar giro en los satélites; a su vez, los satélites, de geometría helicoidal, engranan con los planetarios pero por el diseño del ángulo de fricción y el ángulo del tornillo, el sistema cinemático solo puede rotar en un sentido. Con este mecanismo se asegura que, a diferencia de lo que ocurre con un diferencial convencional u otro sistema autoblocante, el movimiento de las ruedas no se transmita al motor.

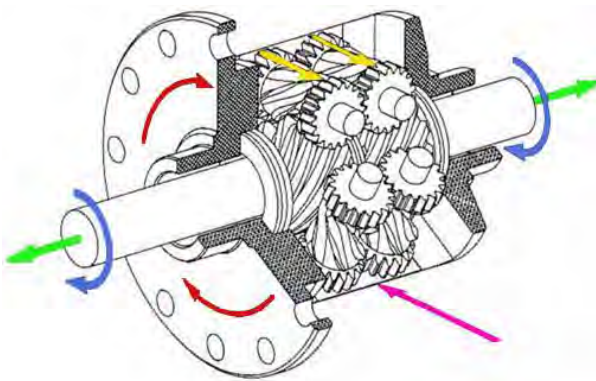


Figura 22: "Diferencial Torsen"

3.4. La unión mecánica

Por definición todas las máquinas están formadas por un variado número de elementos, cada uno de los cuales cumple una función como parte del conjunto. Para asegurar la calidad y funcionalidad de un producto es necesario garantizar una correcta unión de las unidades o piezas que la constituyen.

A continuación se presenta una clasificación y breve explicación de los diferentes modos de unión para materiales metálicos, para posteriormente centrarse en la unión roscada.

3.4.1. Tipos de uniones

La clasificación de los distintos tipos de unión se puede realizar en función a diferentes criterios; sin embargo el criterio más generalizado se basa en si la unión es permanente o no. En base a esta clasificación se tiene el siguiente esquema (figura 23):

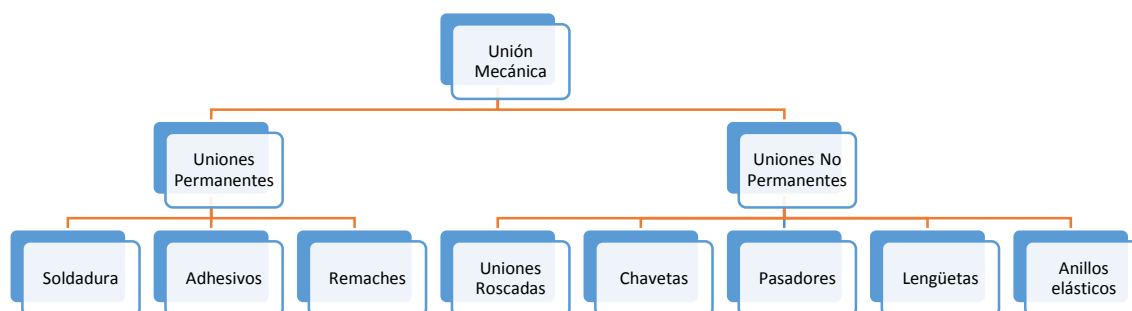


Figura 23: “Diagrama resumen tipos de uniones mecánicas”

3.4.1.1. Uniones permanentes

Es una unión fija que se realiza en piezas cuyo desmontaje no se prevé durante la vida útil de la máquina o estructura o, en otros casos, por seguridad o exigencia del diseño. Para la separación de las piezas es necesario romper el elemento de unión y, en muchas ocasiones, se pueden crear daños o deteriorar alguna de las piezas.

A continuación se muestran algunos de los métodos más comunes de uniones permanentes como son los diferentes tipos de soldaduras, remaches y adhesivos.

Soldadura

Se trata de la unión de dos piezas metálicas, de igual o parecida composición, dando lugar a fusión continua, rígida y estanca. Aunque existe diferentes métodos de soldadura la más generalizada es la soldadura por fusión basada en la aportación de calor al material. Con el calor aportado se alcanza el punto de fusión del metal, el cual, una vez solidificado, produce la unión. Así mismo, la soldadura se puede crear con o sin material de aporte.

En cuanto a su clasificación, se pueden distinguir en primer lugar los siguientes tipos de soldadura:

- Soldadura heterogénea. Se efectúa entre materiales de distinta composición, con o sin aportación de material. Puede ser blanda (temperatura inferior a 400°C), o fuerte (temperatura hasta 800°C).
- Soldadura homogénea. Tanto los materiales que se sueldan como el metal de aportación, si existiese, son de la misma naturaleza. En el caso de que no haya material de aportación las soldaduras homogéneas se denominan autógenas.

Durante el proceso de soldadura se pueden provocar cambios en los materiales. Estos cambios son función de multitud de factores como la temperatura, velocidad de enfriamiento, composición del material, etc. Los efectos resultantes determinan la utilidad de la unión ya que la aparición de defectos tanto físicos (rechupes, desprendimientos, poros, grietas) como químicos (microsegregaciones, gases, cambios en la composición), pueden hacer que la unión no cumpla con los requisitos requeridos.

Remaches y roblones

Los remaches y roblones son vástagos metálicos de forma cilíndrica con una cabeza en uno de los extremos. La unión permanente se consigue al deformar el extremo opuesto a la cabeza mediante presión.

Los roblones tienen un calibre superior al de los remaches, contando con un diámetro superior a los diez milímetros. Para la unión de dos elementos, se comienza por calentar el roblón a una temperatura comprendida entre 1050°C y 950°C (en función del material) para posteriormente introducirlo en un orificio pasante practicado entre los elementos a unir; por último se estampa el vástago que sobresale creando la segunda cabeza que sujeta el conjunto. Al mismo tiempo el material llena por completo el interior del orificio (ver figura 24).

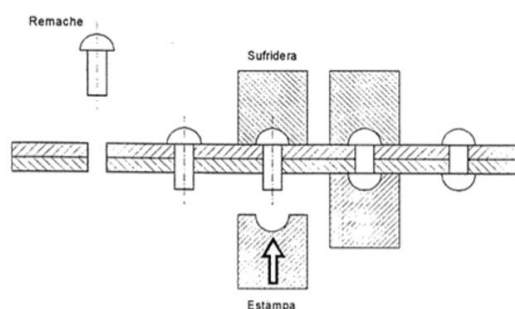


Figura 24: "Montaje de roblones"

En cuanto a los remaches, son elementos similares a los roblones pero de menor diámetro. Constan de una varilla situada en el interior de un cilindro hueco. El vástago tiene una cabeza mayor que el diámetro interno del cilindro, el cual cuenta con un reborde plano. Para realizar la unión se introduce el cilindro en un taladro practicado previamente a las piezas a unir de forma que el reborde del cilindro no penetre en dicho taladro. Mediante una herramienta, denominada remachadora, se tira del vástago a la vez que se hace presión en sentido opuesto sobre el reborde del cilindro. La cabeza del vástago deforma el cilindro hasta crear un disco que no cabe por el taladro. Finalmente se elimina la parte sobrante del vástago.

Adhesivos

Un adhesivo es una sustancia que, interpuesta entre dos cuerpos o superficies, sirve para pegarlos y crear una unión resistente a la separación. Esta unión entre sustratos (adherentes) se consigue por las acciones de dos fuerzas, adhesión y cohesión, representadas en la figura 25.

- Adhesión: conjunto de fuerzas que se establecen entre el adhesivo y el adherente.
- Cohesión: fuerzas entre las moléculas del adhesivo.

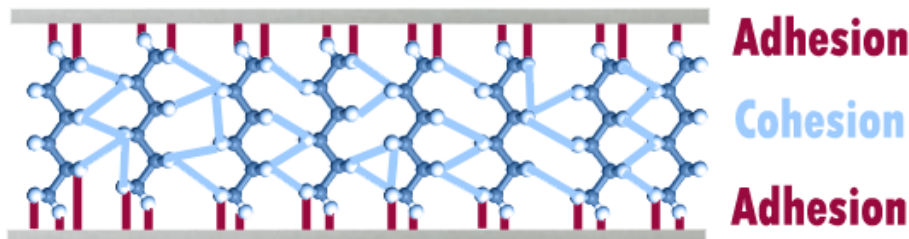


Figura 25: "Fuerzas de atracción en la unión adhesiva"

Las uniones adhesivas presentan las siguientes ventajas e inconvenientes con respecto a otros métodos de ensamblaje (ver tabla 1):

Tabla 1: "Ventajas e inconvenientes de los adhesivos"

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Distribución uniforme de tensiones • Sin distorsión de los sustratos • Unión de materiales distintos • Sellado simultaneo • Aislamiento corrosión galvánica • Reducción del número de componentes • Mejora del aspecto del producto • Uniones híbridas • Unión económica 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de preparación superficial • Tiempos de curado • Limitación de temperatura • Dificultad de desmontaje • Envejecimiento

Los adhesivos son materiales no metálicos que no reaccionan químicamente con las superficies en contacto, existiendo una gran cantidad de productos de diferente naturaleza y origen; este hecho hace que la clasificación sea compleja y se pueda realizar en función de diferentes criterios. La tabla 2 recoge cuatro posibles catalogaciones:

Tabla 2: "Clasificación de los adhesivos"

Según la aplicación	Según el tipo de polímero
<ul style="list-style-type: none"> Estructurales De sostén Selladores 	<ul style="list-style-type: none"> Termoplásticos Elastómeros Termoestables
Según su origen	Según el curado
<ul style="list-style-type: none"> Natural Sintético 	<ul style="list-style-type: none"> No reactivos Reactivos

Una de las clasificaciones más empleadas se basa en el mecanismo de formación de la junta adhesiva, según el curado, dividiendo los adhesivos en dos grandes grupos:

- **No reactivos:** el polímero ya existía antes de la aplicación del adhesivo sobre la superficie. También se denominan prepolimerizados.
- **Reactivos:** una vez el adhesivo es aplicado sobre las superficies a unir se producen las denominadas poli-reacciones (polimerización, policondensación y poliadición); se tratan de un conjunto de diferentes reacciones químicas en cadena en las cuales los monómeros que constituyen el adhesivo comienzan a interaccionar para formar el polímero final.

Los principios de la adhesión son comunes para ambos grupos, sin embargo, sólo los adhesivos reactivos son capaces de dar soluciones fiables a los problemas de ingeniería, al ser adhesivos de alta resistencia en los que se puede controlar la unión y el rendimiento de la reacción.

La resistencia de una unión adhesiva entre dos sustratos se puede evaluar realizando un ensayo de rotura. Así, el fallo de una unión puede ocurrir de cuatro modos, tal y como ilustra la figura 26.

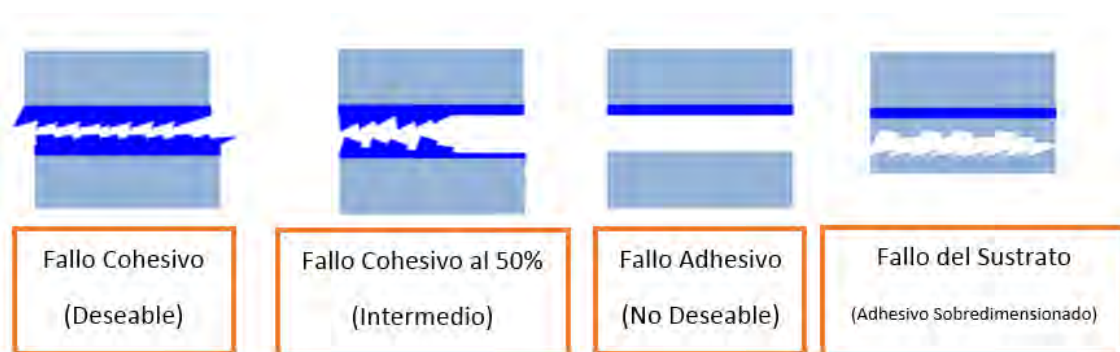


Figura 26: "Tipos de fallos en uniones adhesivas"

Cuando se diseña una unión adhesiva se busca que en caso de fallo la rotura no se produzca en la interfase sustrato-adhesivo (fallo adhesivo). Dado que la fuerza de adhesión depende de un gran número de factores, la rotura adhesiva es impredecible, sin embargo, las características mecánicas del adhesivo empleado si se conocen; este hecho hace que se puedan predecir las cargas de rotura de modo cohesivo bajo diferentes esfuerzos. Por las razones expuestas, se diseña la unión de modo que las fuerzas adhesivas sean superiores a las cohesivas, lo que

permite conocer el comportamiento mecánico de la unión a partir de las propiedades mecánicas del adhesivo.

La rotura del sustrato se produce cuando se ha sobredimensionado la zona de unión, y se considera un fallo en el diseño al emplearse una cantidad de adhesivo superior al necesario, con su consecuente coste económico.

Antes de decidir el tipo de adhesivo que se debe emplear, es indispensable conocer la naturaleza y magnitud de las tensiones a las que estará sometido durante su servicio, así como las condiciones de trabajo durante su vida útil (temperatura, humedad, calor, exposición al sol, etc.) las cuales influyen en la degradación del adhesivo.

Se debe buscar una distribución uniforme de tensiones para obtener un mejor aprovechamiento de la capacidad resistente de la unión y una mayor resistencia. Las mejores condiciones son las cargas de compresión, en menor medida tracción y cizalla, y por último las sollicitaciones de desgarro y pelado. Para conseguir ensamblajes correctos hay que plantear durante la etapa de diseño un trazado que evite en lo posible esfuerzos que no sean de tracción o de cortadura en las uniones adhesivas.

A continuación se muestran algunos de los productos adhesivos empleados en el proceso de producción de la transmisión a estudio.

Sellador

Se trata de un material de relleno y estanqueidad que se emplea para prevenir fugas de gases o líquidos, así como para impedir la entrada de elementos del exterior (ver figura 27). Existe una amplia gama de selladores en función de su composición (poliuretano, anaeróbicos, siliconas, epoxi, etc.) y en numerosas ocasiones un adhesivo se puede emplear como sellador. A continuación se describen algunas funciones y requisitos generales de los selladores:

- Proteger las zonas roscadas de la corrosión.
- Asegurar la estanqueidad del montaje, evitando cualquier tipo de fuga que pueda ocurrir.
- Rellenar por completo espacios y holguras que existan entre las superficies.
- Soportar las cargas y presiones de trabajo.
- Resistir las condiciones ambientales

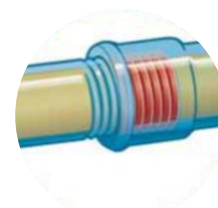


Figura 27: "Sellador"

Fijador

Los fijadores se emplean para evitar el aflojamiento de las uniones roscadas y asegurar cualquier tornillería frente a vibraciones e impactos. El adhesivo rellena todo el espacio libre existente entre las zonas roscadas evitando la posibilidad de micromovimientos relativos entre elementos; además se garantiza la estanqueidad y previene de corrosión.

Existen tornillos con fijador pre-aplicado (figura 28); son muy adecuados para líneas de montaje de alto volumen de producción. No son necesarias operaciones adicionales y pueden usarse en la mayoría de las uniones roscadas, macho o hembra. Con ello se evitan problemas de seguridad e higiene ya que un contacto



Figura 28: "Tornillo con adhesivo pre-aplicado"

prolongado con adhesivos puede producir reacciones alérgicas; también aseguran una dosificación exacta garantizando que el producto se encuentra en el punto de diseño. Esta unión se traduce en una reducción de costes, ahorro de tiempo y repetitividad del montaje.

Activador

Los activadores se emplean para iniciar el curado de los adhesivos anaeróbico. Los adhesivos y selladores anaeróbicos no reaccionan en presencia de oxígeno, pero polimerizan en ausencia de aire y presencia de iones metálicos; a su vez son ideales en montajes de elementos metálicos ya que las superficies, ricas en iones, favorecen el proceso de curado. No obstante, cada material presenta un nivel de actividad:

- Superficies activas: acero, latón, bronce, cobre, hierro.
- Superficies pasivas: aceros de alta aleación, aluminio, níquel, zinc, estaño, plata, oro, óxido, superficies cromadas, revestimientos anódicos, acero inoxidable.

Cuando el sustrato donde se aplica el adhesivo es pasiva, o se trata de una superficie no metálica, se requiere emplear un agente que desencadena la reacción de polimerización, este agente es el denominado activador. Así mismo, la corrosión y la suciedad evitan el contacto con los iones metálicos inhibiendo la reacción.

Formador de juntas

Las juntas se emplean para evitar el escape de líquidos o gases al formar barreras impermeables. Para que la junta sea eficaz es necesario que el sellado sea estanco y permanezca intacto durante la vida útil del producto.

Las juntas convencionales son generalmente de papel, corcho, plásticas e incluso de acero. Como alternativa se encuentran las juntas de formación "in situ" (figura 29). Estas juntas poliméricas se aplican en una de las superficies y, cuando se unen las piezas, fluye hacia las holguras y huecos formando un sellado estanco después del curado. Dentro de estas uniones encontramos compuestos anaeróbicos y siliconas.

Las juntas "in situ" ofrecen numerosos beneficios en comparación con los sistemas de sellado tradicionales:

- Reducción de inventario
- Resistencia de altas presiones
- No hay relajación de la junta
- Tolerancias perfectamente conocidas
- Resistencia estructural
- Precisa de acabados superficiales menos severos
- Compatibilidad química frente a una gran variedad de agentes químicos
- Protección contra corrosión

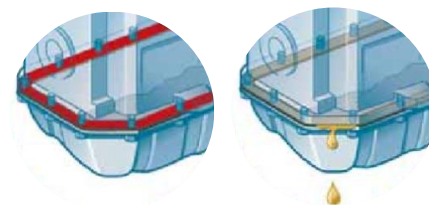


Figura 29: "Junta adhesiva"

Por último, la junta debe ser resistente a los líquidos o gases a sellar así como resistir las temperaturas y presiones a las que está sujeta.

3.4.1.2. Uniones no permanentes

Anillos Elásticos

Se tratan de elementos metálicos, generalmente de acero, de forma circular abierta (ver figura 30). La función de los seguros elásticos es la de evitar cualquier tipo de desplazamiento axial ya que pueden soportar cargas axiales considerables entre el elemento que sujeta y la ranura sobre la que se acopla el anillo. Los anillos elásticos desempeñan una función de apoyo o tope, impidiendo el desplazamiento de una pieza con respecto a otra.

Pueden ser anillos externos o internos; en ambos casos su fijación se realiza mediante una acanaladura, efectuada en una de las dos piezas entre las cuales realiza su función de tope, aprovechando la elasticidad del anillo.



Figura 30: "Conjunto anillo elástico y herramienta de montaje"

Chavetas y Lengüetas

Las chavetas son piezas metálicas con forma de cuña. Se emplean en la unión desmontable de piezas que deben girar solidarias, como por ejemplo en un árbol o eje para transmitir un par. Para su colocación entre los elementos es necesario, en primer lugar, realizar una ranura, denominada chavetero, entre ambas piezas. Una vez situada la chaveta, ésta ejerce un esfuerzo de compresión en dirección radial que garantizará que la unión se mantenga.

Las chavetas se pueden clasificar en función de su colocación respecto al eje de giro como transversales o longitudinales. Por otro lado, como se puede observar en la siguiente imagen (figura 31), existen chavetas con cabeza o sin cabeza.

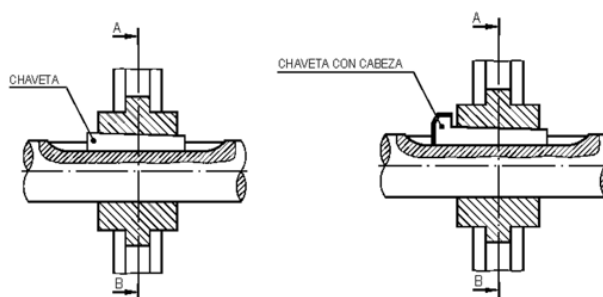


Figura 31: "Tipos de chavetas"

Las lengüetas son una clase especial de chaveta. La diferencia fundamental entre chavetas y lengüetas reside en su forma y en las caras empleadas para el ajuste. Las chavetas son de forma cónica mientras que las lengüetas son de sección recta. Otra diferencia entre ambas reside en la forma de ajuste; las chavetas realizan el ajuste por sus caras superior e inferior mientras que las lengüetas lo realizan por sus caras laterales. Por último, las lengüetas no ejercen presión radial, permitiendo en algunos casos un desplazamiento axial (longitudinal) entre elementos. Esta falta de fuerza radial hace necesario en algunos casos que las lengüetas

se fijen mediante tornillos, a excepción de las lengüetas de disco. En la ilustración (figura 32) se muestran algunos diseños de lengüetas.

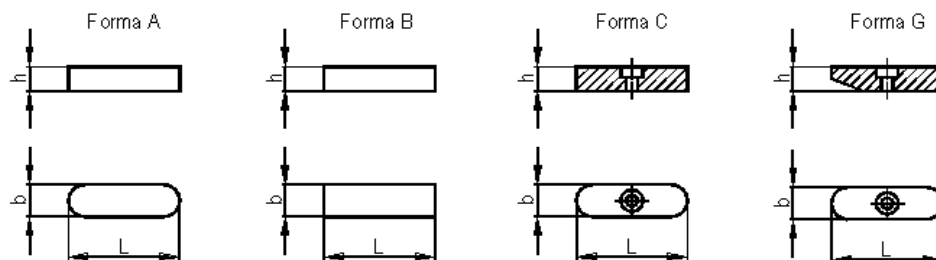
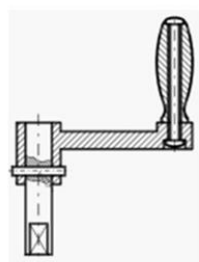


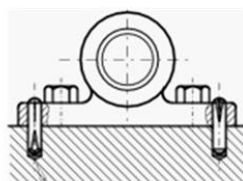
Figura 32: "Tipos de lengüetas"

Pasadores

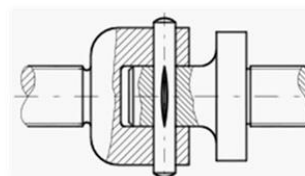
Son piezas metálicas, generalmente de acero, de forma cilíndrica o cónica, cuyos extremos pueden variar en función de la aplicación. Se emplean para unir dos piezas mediante un orificio común con el fin de inmovilizarlas (pasador de sujeción) o para asegurar la posición relativa de ambas (pasador de posición); en ciertos casos se emplean a su vez como elementos de guía o articulación (ver figura 33). Los pasadores pueden llegar a transmitir movimiento ya que absorben esfuerzos cortantes, pero no están diseñados para transmitir grandes esfuerzos ni trabajar a tracción.



Sujeción



Posición





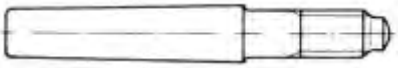
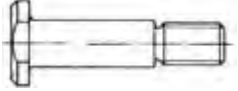



Guía

Figura 33: "Funciones de los pasadores"

En ciertas ocasiones los pasadores se pueden emplear para cumplir otra función, la de evitar sobrecargas en piezas de elevado valor; esto son los pasadores de seguridad diseñados para fallar por cizalladura cuando se alcanza un determinado valor de tensión.

En cuanto a su diseño, existen diferentes tipos de pasadores, cada uno de ellos diseñados para cubrir unas necesidades determinadas. La siguiente tabla (tabla 3) recoge algunos de los pasadores más comunes:

Tabla 3: "Tipos de pasadores"

Pasador cilíndrico	
Pasador cónico	
Pasador cónico con espiga roscada	
Ajustado con cabeza	
Pasador cónico estriado	
Pasador de aleta	
Elástico tubular	

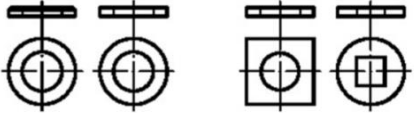

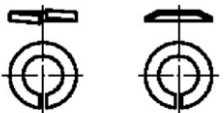

Arandelas

Son elementos con forma de corona o anillo que generalmente se sitúan entre una tuerca o tornillo y la pieza a unir. Se pueden emplear para cubrir diferentes necesidades. Las principales funciones de las arandelas son:

1. Proteger las superficies de contacto, evitando el roce de las piezas entre las que se coloca
2. Repartir de forma homogénea la presión de carga
3. Desplazar la fuerza de apriete
4. Inmovilizar tuercas y tornillos, reduciendo el riesgo de aflojamiento por aumento del coeficiente de fricción (arandelas dentadas o estriadas).
5. Evitar una posible pérdida de tensión de apriete por deformación de las piezas o vibraciones (arandelas elásticas)
6. Compensar la falta de paralelismo de las piezas o de superficies irregulares
7. Asegurar la estanqueidad entre el tornillo o tuerca y la pieza
8. Sujeción de cables en las conexiones eléctricas.
9. Prevenir corrosión.

En la tabla 4 pueden verse algunos de los tipos más frecuentes de arandelas:

Tabla 4: "Tipos de arandelas"

Arandela de asiento	Arandela dentada
 <p><i>Plana con y sin chaflán</i> <i>Cuadrada y redonda para madera</i></p>	 <p><i>Con dentado</i> <i>Con dentado en abanico</i></p>
Arandela elástica	Arandela de seguridad
 <p><i>Tipo Grover</i> <i>De resorte de presión</i></p>	 <p><i>Con 1 ó 2 solapas de fijación</i> <i>Con pestiño de fijación</i></p>

3.4.2. La unión roscada

Una unión roscada es aquella en la que el contacto entre dos elementos se produce mediante una superficie helicoidal. Se trata de una unión desmontable en la que el único movimiento relativo posible es un giro con avance axial.

Son las uniones mecánicas más extendidas debido a las siguientes características:

- Permiten un montaje rápido y sencillo
- Es una unión reversible
- Son elementos normalizados
- Costes bajos

La principal función de la unión roscada es asegurar que las piezas atornilladas entre sí se comporten como una sola bajo las diferentes condiciones de trabajo. Así mismo, la estanqueidad de la unión se puede asegurar mediante uniones híbridas, es decir, aquellas en las que se combina la unión roscada con otros elementos, como adhesivos u otros materiales.

Al elemento interior, cuyo roscado es externo, se le denomina tornillo o esparrago en función de si el elemento cuenta con cabeza o no. Por otro lado, el elemento externo donde irá alojado el tornillo, cuenta con un roscado interno ya sea en un taladro o en un elemento de fijación denominado tuerca. Según la dirección de desarrollo de la hélice, las roscas se denominan a derechas si el giro del elemento externo o macho en sentido horario produce un movimiento de avance o penetración en la tuerca; en caso contrario la rosca es a izquierdas.

3.4.2.1. Cargas aplicadas en la unión atornillada

En una unión atornillada el cuerpo del tornillo o esparrago está expuesto a las siguientes cargas:

- Tracción: es la fuerza que mantiene unidos los elementos de la junta.
- Torsión: es una fuerza resultante del rozamiento que se produce entre las roscas
- Cizalladura: fuerza externa que actúa perpendicularmente al avance del tornillo.

En función del diseño de la unión, y de la posición relativa de la rosca con respecto a las fuerzas externas, se puede distinguir entre:

- Juntas de carga por cizallamiento
- Juntas de carga por tracción

Así mismo, en función de las superficies en contacto se puede distinguir entre:

- Unión rígida: la unión rígida se produce cuando los elementos en contacto son metálicos. Una vez se alcanza el nivel de asentamiento de los componentes a unir, la fuerza de amarre se consigue con un ángulo de apriete casi nulo. Según la norma ISO 5393, desde el contacto, hasta que se alcanza el par objetivo, se obtiene un ángulo que puede variar en 30° (ver figura 34).
- Unión elástica: se introduce un elemento intermedio entre la cabeza del tornillo y/o la tuerca y la superficie del elemento a unir; estos elementos intermedios pueden ser juntas, suplementos o arandelas elásticas. En este tipo de unión, la relajación que se produce tras el apriete es elevado, por lo que es necesario emplear un apriete en dos etapas y un elevado ángulo de giro para asegurar que se ha alcanzado el par deseado. Cuanta más elástica es la junta mayor es el consumo de energía, siendo recomendable emplear herramientas de elevada potencia. Según la norma ISO 5393, desde el contacto hasta que se alcanza el par objetivo se obtiene un ángulo de 720° (ver figura 34).

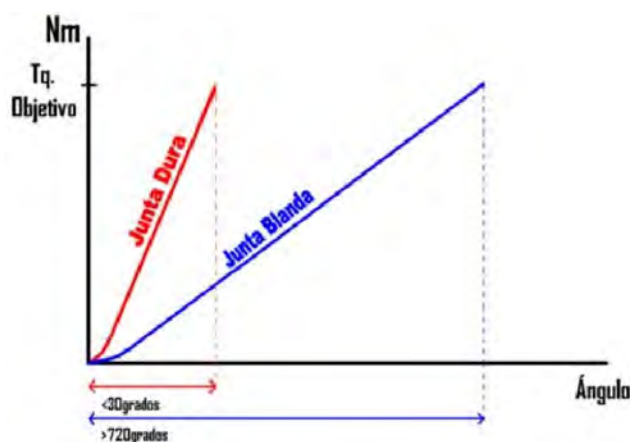


Figura 34: "Gráfica de fuerza de amarre y ángulo de giro para junta rígida y elástica"

3.4.2.2. Comportamiento mecánico de la junta

Antes de presentar el comportamiento de la unión roscada, es importante conocer lo que es el par de apriete. El par de apriete es un momento torsor que se aplica sobre la cabeza de un tornillo o sobre una tuerca dando lugar a una rotación o giro del mismo debido a la forma de hélice de la rosca. Este giro se traduce en un avance axial que, una vez las superficies entran en contacto, genera una fuerza de amarre sobre los componentes que se unen.

El par de apriete es el parámetro que se emplea para medir la calidad de la unión, aunque el par solo es un indicador de la fuerza de amarre, es decir, la fuerza que ejerce el tornillo sobre

los elementos a unir. Cuando se aplica un par torsor sobre la cabeza del tornillo, solamente el 10% se convierte en fuerza de amarre, un 50% se disipa por el rozamiento entre la cabeza y la superficie y el otro 40% en el rozamiento de la rosca, aunque estos valores dependen de las condiciones de trabajo; la presencia de lubricantes, adhesivos u el tipo de acabado superficial pueden modificar el coeficiente de rozamiento. Por ello, el par mínimo se calcula de forma que, suponiendo el máximo rozamiento, se alcance la mínima fuerza de amarre deseada, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo como vibraciones, variaciones térmicas, dimensiones, tipo de material a unir y precisión del apriete. Por otro lado, el tipo de tornillo se debe elegir de forma que la máxima tensión admisible sea superior a la fuerza de amarre que se desea aplicar, teniendo en cuenta a su vez la incertidumbre de la medición y las sobrecargas que pueden producir un alargamiento adicional.

En cuanto al comportamiento de la junta, la mayor parte del tornillo y los elementos de la unión responden elásticamente a las cargas durante el apriete haciendo que el cuerpo del tornillo trabaja a tracción, mientras el elemento a sujetar trabaja a compresión. La fuerza ejercida en el conjunto produce una deformación, principalmente en el tornillo, el cual hace una función de acumulador de energía, aportando una fuerza de precarga que mantiene los elementos unidos. La deformación debida a las cargas de tensión y compresión en los elementos elásticos se define mediante la Ley de Hook. Cuando se deja de ejercer torsión, los elementos tienden a regresar a su estado original. Este sistema se puede equiparar a dos resortes conectados en serie de diferente rigidez, como puede observarse en la figura 35.

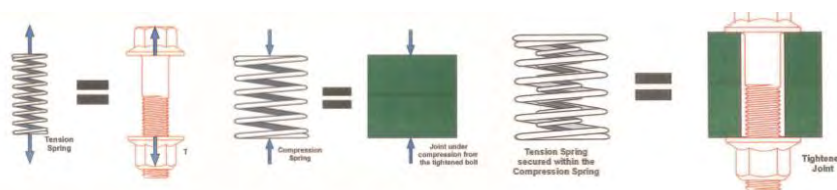


Figura 35: "Comportamiento elástico de la unión atornillada"

El tornillo no puede someterse a una tracción de cualquier magnitud. Si se aplica una fuerza de tracción tal que se supere el límite elástico, el tornillo queda deformado plásticamente, dejando de ejercer compresión sobre las piezas a unir. Así mismo, si la fuerza de tracción supera el límite de rotura, el tornillo romperá.

El gráfico de tensión-deformación (figura 36), determinado por ensayos de tracción, muestra la relajación lineal que se produce dentro de la zona elástica del material; por encima del límite elástico la deformación del material es permanente. Este gráfico nos da una idea del comportamiento del tornillo durante el proceso de apriete. Al aplicar un par de apriete se produce una fuerza de tracción que aumenta proporcionalmente el ángulo de giro; si se sigue apretando el tornillo, una vez superado el límite elástico del material, la tensión aumenta más lentamente hasta alcanzar el punto de ruptura.

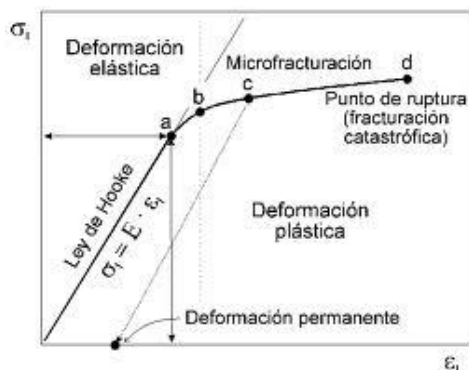


Figura 36: "Gráfica tensión-deformación"

3.4.3. Errores de apriete

Como se ha indicado anteriormente, el par de apriete solo es un indicador, siendo la fuerza de amarre la que mantiene los elementos unidos. Existen multitud de factores que afectan a la relación entre el par y la fuerza de amarre, como la presencia de lubricante, el material de los tornillos o de los elementos a unir, la presencia y tipo de arandelas, la clase y terminación de los hilos del tornillo, entre otros; por lo tanto, en una unión roscada, el par de apriete aplicado puede ser el correcto, mientras la fuerza de amarre resultante de dicho par no.

A continuación se exponen algunos de los errores más comunes que pueden producirse durante el montaje de uniones atornilladas:

Errores en la geometría

Pueden deberse a daños en la rosca o por un fallo en la geometría de la pieza. En ambos casos, el par aplicado se emplea en vencer la resistencia de la rosca, alcanzándose el par de apriete antes de conseguir la fuerza de amarre deseada. Por ejemplo, si el taladro donde irá ubicado el tornillo es de mayor diámetro del debido, se incrementa el estrés de contacto y se reduce la precarga debido a la enclavadura de la cabeza del tornillo. Por el contrario, un agujero reducido y sin chaflán puede causar una pérdida total de precarga debido a la enclavadura del tornillo en la superficie.

Efectos de lubricación

La presencia de lubricantes afecta en el coeficiente de rozamiento, tanto de la rosca como de la fricción entre la cabeza y la superficie de la pieza a unir. Una disminución del coeficiente de rozamiento se traduce en que es necesario aplicar un menor par sobre el tornillo para alcanzar la fuerza de amarre deseada. Así mismo, el coeficiente de rozamiento no solo depende de la presencia o no de lubricantes, también depende del acabado superficial del asiento del tornillo.

En uniones diseñadas en seco, la presencia de aceites puede conllevar que la fuerza de tracción aplicada sobre el tornillo sea mayor que el límite de rotura y se produzca el fallo del tornillo. Si la unión está diseñada con lubricación, una ausencia de la misma produce que el par aplicado sea inferior al necesario para alcanzar la fuerza de amarre deseada, haciendo que el tornillo pueda aflojarse. La siguiente gráfica (figura 37) ilustra la influencia del coeficiente de fricción sobre el par de apriete y la fuerza de amarre.

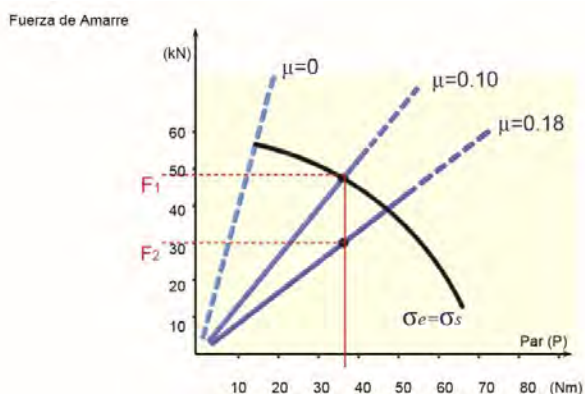


Figura 37: "Gráfica de influencia del coeficiente de fricción vs fuerza de amarre"

Relajación

Se produce cuando hay un cambio permanente en la dimensión axial del tornillo debido a la deformación de las superficies en contacto; esta variación produce una reducción de la fuerza de amarre al disminuir la energía almacenada por el tornillo.

La relajación puede ser fruto de la reducción por aplastamiento de la rugosidad superficial de la zona de contacto de la rosca; también puede producirse por la deformación progresiva al sobrepasar el límite elástico durante el montaje.

Pasado un tiempo desde que se deja de ejercer par sobre el tornillo, la fuerza de amarre disminuye (ver figura 38). En uniones rígidas esta pérdida es aceptable; por el contrario, en uniones elásticas la cantidad de fuerza de amarre perdida es elevada y es importante implantar métodos mecánicos (tornillos y tuercas con reborde en cabeza, arandelas cónicas de resorte, etc.) o emplear técnicas de apriete (apriete en varias etapas, apriete a par y ángulo, herramientas de impacto o impulso) que reduzcan este efecto.

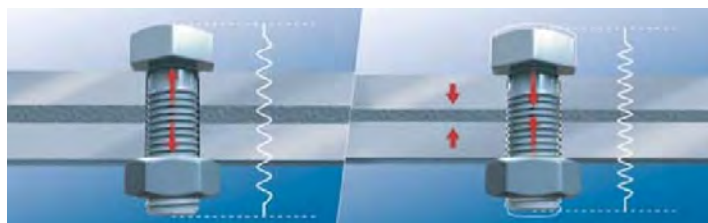


Figura 38: "Fenómeno de relajación en la unión roscada"

Autoaflojamiento

Se produce por las cargas dinámicas, como vibraciones o variaciones de temperatura, durante el funcionamiento del mecanismo. Estas cargas provocan una falta de contacto entre las dos partes de la rosca, y entre la cabeza del tornillo y la superficie, lo que da lugar al aflojamiento del tornillo por la pérdida de fricción y micromovimientos.

Las soluciones para evitar este fenómeno pueden ser mecánicas (tuercas con dientes de enclavamiento, contratueras, tornillos de alta tensión, etc.) o por medio de adhesivos. Los adhesivos fijadores, como se expuso anteriormente, rellenan el espacio en la zona roscada y aseguran el contacto evitando micromovimientos.

Falta de componentes

La falta de algún componente, como por ejemplo una arandela o una junta, modifican las condiciones de la unión. Este cambio en las condiciones afecta a la fuerza de amarre resultante del par aplicado.

Aplastamiento

Un par excesivo puede provocar que la fuerza de precarga deforme o dañe permanentemente la junta situada entre la cabeza del tornillo o tuerca y la superficie de asentamiento (ver figura 39). Esta deformación hace que la junta no responda adecuadamente cuando los requisitos de diseño o funcionamiento así lo requieran, por ejemplo, estanqueidad, cambio de temperatura o presión, etc.

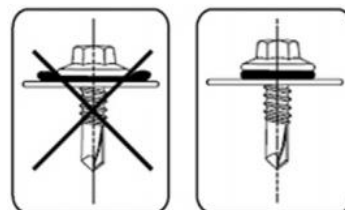


Figura 39: "Fenómeno de aplastamiento en unión roscada"

Capítulo IV: El concepto de calidad y las normas ISO 9000

En este capítulo se realiza una breve introducción del concepto de calidad y se presenta a su vez dos programas de aseguramiento de la calidad, el programa de cero defectos y los círculos de calidad. También se exponen las normas de la serie ISO 9000 sobre la gestión de la calidad vigentes actualmente, así como los principales organismos reguladores. Para finalizar se hace una breve explicación de las siete herramientas básicas para el control de la calidad.

4.1. Calidad y organización del trabajo

4.1.1. Definición y objetivo de una política de calidad

La calidad puede definirse como el conjunto de rasgos y características de un producto, o servicio, que suponen la base de la satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente. Por lo tanto, la calidad supone asegurar la adecuación de las especificaciones del producto; la determinación de estas especificaciones corresponde al diseño, y deben adaptarse a las necesidades del cliente o el usuario.

El diseño abarca también el proceso de fabricación, de forma que se determinen las especificaciones del producto con objeto de que sea fácil y barato tanto fabricarlo, como mantenerlo. Si el departamento de diseño, o el diseñador en concreto, identifican correctamente las necesidades y los gustos del cliente al que se dirigen, así como las capacidades y limitaciones del proceso de producción, desarrollará unas especificaciones óptimas. Si estas especificaciones se alcanzan en el proceso de fabricación, el producto tendrá un elevado nivel de calidad.

El concepto actual de calidad ha evolucionado hasta convertirse en una forma de gestión o política de calidad. La política de calidad debe incluir unos objetivos para cada área de actividad de la empresa, unos programas de actuación para alcanzar dichos objetivos y una estructura de personal cualificado y con el presupuesto suficiente para llevar a término estos programas. Existen diversas razones que justifican una gestión basada en la satisfacción de la calidad del producto o servicio, entre ellas se pueden destacar:

1. Costos y participación en el mercado: Una producción basada en el control de la calidad puede conducir a una mayor participación en el mercado, un ahorro de los costes y una mayor productividad.
2. La reputación de la compañía: La imagen de una compañía afecta a las ventas de un producto. La satisfacción del cliente repercute directamente en la imagen de la empresa y del producto o servicio que ofrece.
3. Responsabilidad del producto: Los daños o lesiones derivados del uso de un producto defectuoso pueden derivar en responsabilidades para la empresa.

4.1.2. Programas de mejora de la calidad

Actualmente, los programas de mejora de la calidad constan de los siguientes elementos:

- Aspectos de motivación para producir calidad
- Métodos para aplicar técnicas de control de calidad
- Adiestramiento en aspectos relacionados con la producción de calidad

A continuación, se presentan dos tipos de programas para la mejora de la calidad, los programas de cero defectos y los denominados círculos de calidad.

4.1.2.1. Programa de Cero Defectos:

Se trata de una filosofía de gestión de calidad introducida por Philip B. Crosby en 1961. Los programas de cero defectos se basan en “hacer las cosas bien a la primera”, es decir, en evitar los defectos antes de que se produzcan. Crosby determina que los errores son causados por dos factores: la falta de conocimiento y la falta de atención. Por lo tanto, los programas de cero defectos deben de tratar mentalizar a todas las personas involucradas en el proceso de fabricación, con el fin de buscar la perfección.

En los programas de cero defectos se suele incluir una fase de familiarización de los operarios y del personal involucrado con el producto, de forma que puedan evaluar las consecuencias de una mala ejecución del trabajo. Por otro lado se busca potenciar la participación del operario mediante el aporte de ideas o sugerencias, así como incluir reuniones para analizar los errores más frecuentes, propuesta de soluciones, o reuniones informativas.

Crosby desarrolló lo que se denominan los catorce pasos para la mejora de la calidad:

1. Compromiso de la Dirección: la Dirección debe de comprometerse con la política de calidad
2. Equipo de Mejora de la Calidad con representantes de todos los departamentos: se forman equipos para la mejora de la calidad con un representante por departamento.
3. Establecer un sistema de medición de la calidad: se deben reunir datos para analizar las tendencias y problemas en el funcionamiento de la organización.
4. Evaluar los costes de la calidad: costes derivados de no hacer las cosas bien a la primera.
5. Establecer conciencia de la calidad en el personal: se debe incrementar la información acerca de la calidad y fomentar el interés personal de todos los empleados.
6. Promover acciones correctoras: se toman una serie de medidas para corregir los problemas detectados en los pasos previos.
7. Establecimiento de un comité para el Programa Cero Defectos: encargado de definir un programa de actuación con el objetivo de prevenir futuros errores.

8. Formación y adiestramiento: con el fin de instruir al personal para que cumplan con la parte que les corresponden en el programa de cero defectos.
9. Celebración de un “Día Cero Defectos”: cuando se detecta un cambio en la organización, con el objetivo de premiar y promover el programa.
10. Establecimiento de objetivos y metas: se fijan unos objetivos para la reducción de errores.
11. Eliminación de las causas de error: se deben eliminar las fuentes de posible error y los obstáculos que impidan el cumplimiento de las metas del programa.
12. Establecer reconocimiento: se debe reconocer y valorar a aquellas personas que se involucren en el programa y participen de forma activa.
13. Reuniones periódicas de los consejos de calidad: se realizan con el fin de mantener informado al personal e intercambiar información acerca de la evolución del programa.
14. Repetirlo todo de nuevo: el programa de calidad es cíclico y no termina jamás. Se debe de buscar la perfección continuamente.

4.1.2.2. Círculos de Calidad

Los círculos de calidad nacieron en Japón después de la II Guerra Mundial de la mano de Kaoru Ishikawa, el cual define los círculos de calidad como "un pequeño grupo organizado voluntariamente". A diferencia de otros enfoques para la mejora de la calidad, los círculos de calidad no son impuestos por la dirección, sino que se trata de un movimiento ascendente y voluntario. La aplicación de los círculos de calidad se ve favorecida por la existencia de un método que permite, paso a paso, la formación de los participantes en las técnicas de control de calidad y el inicio gradual de la aplicación de estas técnicas.

Los círculos deben centrarse en asuntos prácticos, en buscar y obtener resultados positivos. Los objetivos de estos grupos son:

- Identificar posibles problemas
- Seleccionar el problema de mayor importancia o gravedad
- Investigar dichos problemas
- Encontrar las posibles soluciones
- Tomar medidas, en caso de que estén autorizados a hacerlo
- Hacer una exposición de los problemas y posibles soluciones ante la dirección

Cada grupo se compone de seis a nueve personas, en función del tamaño de la empresa. La primera fase consiste en formar a los integrantes en una serie de técnicas estadísticas y de calidad elementales (en el siguiente apartado se exponen las siete herramientas básicas de la calidad). Con esta formación el grupo cuenta con las herramientas básicas para identificar problemas que afectan a la calidad, separarlos, analizarlos y determinar la importancia de cada uno.

Las reuniones de los círculos de calidad se realizan periódicamente, cada 2 o 3 semanas aproximadamente, con una duración por sesión que puede oscilar entre los 45 y 90 minutos. Se recomienda que las reuniones se realicen en horario laboral o, una vez finalizada la jornada, como horas extraordinarias, celebrándolas, generalmente, en el mismo lugar de trabajo.

En cuanto a la organización interna, la participación debe de ser voluntaria y en un ambiente de igualdad. Cada grupo elige un líder, el cual es recomendable que cuente con buenos conocimientos y habilidades, tanto a nivel técnico como comunicativo. Las funciones del líder de grupo son, entre otras: dirigir las reuniones, fomentar la participación, comunicar posibles necesidades a otros departamentos o mandos y trasladar las sugerencias, o resultados alcanzados, para que sean atendidas.

Generalmente, el nivel de satisfacción en las empresas que utilizan el enfoque de los círculos de calidad suele ser elevado, sin embargo, ésta práctica no está exenta de problemas y se pueden dar casos de rechazo o división de opiniones al respecto. Entre los aspectos más problemáticos para la aplicación de los círculos de calidad se pueden encontrar: indiferencia de algunos miembros del grupo, insuficiente estudio de los métodos de control de calidad, ausencia de un liderazgo adecuado, falta de apoyo por parte de los niveles directivos intermedios, mala elección del contenido de las reuniones e inadecuada programación de las reuniones.

4.1.3. Las normas ISO 9000

Las normas son documentos técnicos, de aplicación voluntaria, aprobadas por un organismo de normalización reconocido cuyo deber es garantizar que sean el resultado de un consenso de todas las partes interesadas. Las normas están basadas en los resultados de la experiencia y el desarrollo tecnológico.

Una norma tiene el estatuto de documento privado no obligatorio, adquiriendo carácter obligatorio cuando el poder público la hace Norma Oficial o Directiva conforme a la legislación existente. Sin embargo, aunque no sean oficiales, las normas resultan indispensables para la actividad industrial, como fuente de información y garantía de calidad y seguridad.

Aparte de los organismos de normalización existentes en cada país, en España inciden fundamentalmente los siguientes:

AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación):

Es un organismo privado autorizado para realizar normas técnicas españolas y referenciadas como normas UNE (Una Norma Española). Así mismo, AENOR es el organismo autorizado para adaptar y adoptar a normas UNE las normas de organismos supranacionales. También se encarga de certificar productos, servicios y empresas (ver figura 40).



Figura 40:
"Certificación AENOR"

CEN (Comité Europeo de Normalización):

Se trata de una organización privada cuyo objetivo es sustituir las normas nacionales de los países europeos por normas europeas comunes. Para el caso de los países miembros de la Unión Europea, las normas hechas por el Comité Europeo de Normalización (figura 41), bajo la petición y posterior aprobación de la Comisión Europea, pasan a ser normas armonizadas de obligada adopción como normas oficiales en cada país.

En caso de que la norma hecha por la CEN sea elaborada por iniciativa propia, entonces debe ser obligatoriamente adoptada por el organismo de normalización autorizado en cada país (AENOR en España como Norma UNE), pero no tiene el carácter de oficial, salvo que lo reciba posteriormente. Las normas hechas por la CEN tienen la referencia normas EN.



Figura 41: "Logotipo del Comité Europeo de Normalización"

ISO (Organización Internacional de Normalización):



Figura 42: "Logotipo de la Organización Internacional de Normalización"

Es la organización de normalización a nivel mundial (figura 42). Su objetivo es sustituir la normativa nacional o regional por una común para todos los países del mundo. España está representada por AENOR. Las normas elaboradas por ISO y conocidas como normas ISO no son obligatorias de adoptar como normas nacionales, salvo decisión de cada país.

A medida que se crean acuerdos mundiales entre mayor número de países, las normas ISO van teniendo mayor influencia. Este es el caso de las normas sobre calidad que además fueron elaboradas en primer lugar por ISO.

Existe una estrecha relación entre estas tres instituciones de forma que, además de los acuerdos de adopción de las normas elaboradas por la CEN, se trabaja para evitar duplicación de normas sobre las mismas materias.

Normas de Calidad

Históricamente la elaboración de normas sobre calidad fue motivada, principalmente, por las necesidades militares, fruto de las dos guerras mundiales. El desarrollo de estas normas comenzó en Estados Unidos debido a su desarrollo industrial y a ser pionero en la aplicación de los conocimientos sobre calidad; en 1959, el primer estándar nacional, MIL Q 9858A, sobre programas de calidad fue emitido por el Departamento de Defensa Americano.

La organización Internacional de Normalización fue el primer organismo de normalización no militar que confeccionó las primeras normas sobre calidad en base a la experiencia, precedentes e información existentes. Estas normas fueron las denominadas ISO 9000-9004, que fueron adoptadas por AENOR como normas UNE 66900-66905 en 1986 y, posteriormente, CEN las adoptó como normas EN 29001-29003 en 1989; es decir, la relación entre ISO-CEN-AENOR ha permitido que las normas sobre calidad sean las mismas a nivel español, europeo y mundial.

A diferencia de otras normas de ingeniería, como normas para medición, terminología, métodos de prueba o especificación de los productos, las normas de la serie ISO 9000 son normas orientadas a los sistemas de gestión de calidad que guían el desempeño de una empresa; se dirigen a necesidades específicas en áreas de diseño/desarrollo, producción, instalación y servicio. Se basan en la idea de que un sistema de calidad bien diseñado, implementado y correctamente administrado logrará unos resultados que satisfarán las expectativas y las necesidades de los clientes. Esta serie de normas establecen los requisitos mínimos que deben cumplir los sistemas de gestión de calidad y la documentación para todos los procesos que puedan afectar a la calidad, sugiriendo también su cumplimiento y control a través de auditorías internas que conduzcan a una mejora continua.

A continuación se presentan las normas de la serie ISO 9000 vigentes actualmente:

- ISO-9000: Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.
- ISO-9001: Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- ISO-9004: Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de gestión de la calidad.

Estas normas pueden dividirse en dos grupos:

- a) Normas para la gestión interna de la calidad: Se corresponde con las normas ISO-9000 e ISO-9004. Estas normas recogen las directrices para la gestión interna de la calidad aplicables a todas las empresas.
- b) Normas para el aseguramiento externo de la calidad: Se corresponde con la norma ISO-9001:2008, la cual anula las normas ISO-9002 e ISO-9003. Estas normas se orientan hacia el aseguramiento externo de la calidad en condiciones contractuales.

A continuación se analiza brevemente cada una de las normas ISO para el aseguramiento de la calidad:

UNE-EN ISO 9000:2005

En esta norma se definen los términos relacionados con la calidad y se establecen directrices generales, orientadas tanto a proveedores como fabricantes, para desarrollar un sistema de gestión de la calidad. Estas directrices se basan en los conceptos de calidad total y mejora continua. También busca prevenir inconformidades en el sistema de calidad implantado en la empresa, en la que todo debe estar correctamente documentado como una actividad que aporte valor y mantenida en el tiempo; la documentación puede incluir Manuales de Calidad, Procedimientos Operativos, Informes de Auditorías, Registros de Calidad, etc., acompañados de una política de auditorías internas que garanticen el seguimiento y mejora del sistema de gestión de calidad.

La norma está orientada en un enfoque basado en procesos. El enfoque basado en procesos es un principio de gestión que, junto con otros 7 principios, conforman los denominados “Ocho Principios de Gestión de la Calidad”, los cuales constituyen la base de las normas de gestión de calidad de la familia de las Normas ISO 9000. Los ocho principios son los siguientes:

1. Enfoque al cliente: se deben comprender tanto las necesidades actuales como futuras de los clientes, buscando siempre satisfacer sus necesidades y expectativas.
2. Liderazgo: los líderes deben definir la orientación de la organización y hacer que el personal se involucre en el logro de los objetivos planteados.
3. Participación del personal: el compromiso de todo el personal hace que sus habilidades se empleen para el beneficio de la organización.
4. Enfoque basado en procesos: para alcanzar eficientemente los resultados deseados es recomendable gestionar los recursos y actividades como procesos.
5. Enfoque de sistema para la gestión: para lograr los objetivos de la organización de modo eficiente y eficaz, se deben identificar y gestionar los procesos como un sistema.
6. Mejora continua: debe ser un objetivo permanente de la organización.
7. Enfoque basado en hechos para la toma de decisiones: se deben analizar y comprender los datos y la información recabada para tomar las decisiones adecuadas.
8. Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor: el trabajo conjunto entre la organización y el proveedor permite mejorar la capacidad para crear valor en ambos.

Según la Norma ISO 9000:2005 un proceso es “un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”. Este enfoque lleva a que la organización tome una serie de actuaciones como:

- Definir las actividades que componen el proceso
- Identificar la interrelación con otros procesos
- Definir responsabilidades respecto al proceso
- Analizar y medir los resultados de la capacidad y eficacia del proceso
- Estudiar los recursos y medidas que permiten mejorar el proceso

Estos principios se encuentran descritos en la norma y constituyen una referencia básica para el entendimiento y la implantación adecuada de los requisitos de la Norma ISO 9001 o las directrices de la Norma ISO 9004.

La figura 43, perteneciente a la Norma ISO 900, muestra el sistema de gestión de calidad basado en procesos que se describe en la familia de Normas ISO 9000.

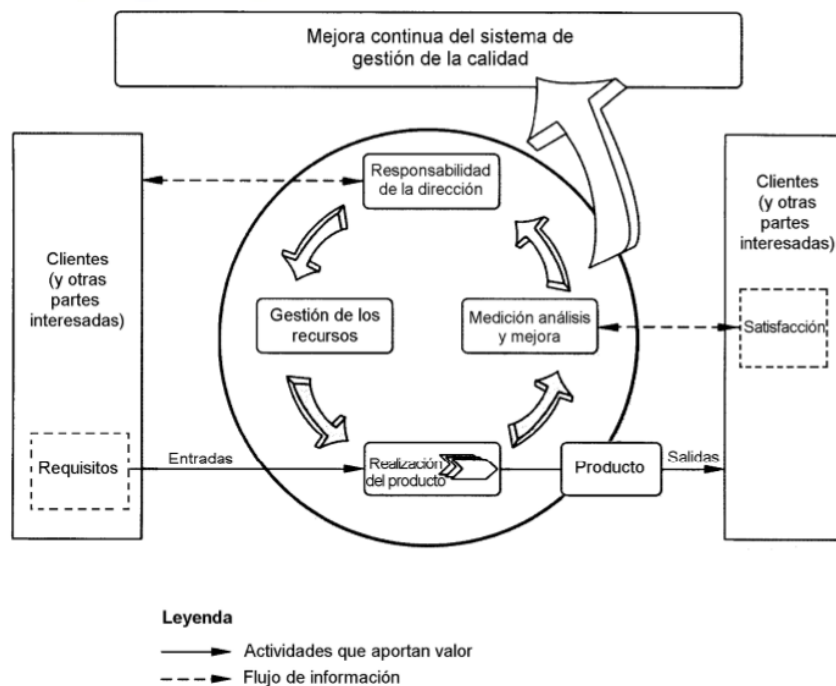


Figura 43: "Diagrama de gestión de calidad Norma ISO 9000"

Como se puede observar, el gráfico no refleja los procesos de una forma detallada, pero permite distinguir cuatro grupos de procesos:

- Responsabilidades de la dirección
- Gestión de los recursos
- Realización del producto
- Medición, análisis y mejora.

Las partes involucradas juegan un papel significativo en la entrada de elementos a la organización. Por otro lado, para el seguimiento de la satisfacción de las partes interesadas es necesario el conocimiento y análisis de su percepción con respecto al grado de cumplimiento de sus necesidades y expectativas.

UNE-EN ISO 9001:2008

La Norma ISO 9001 tiene por objetivo el aseguramiento y gestión externa de la calidad, en la que se establecen los requisitos mínimos que debe cumplir un sistema de gestión de calidad. Se aplica cuando la conformidad con las especificaciones se debe de asegurar por el suministrador desde varias etapas, en las que se pueden incluir el diseño, el desarrollo, implantación y mejora, en función de un sistema de gestión de calidad basado en procesos. Esta norma especifica los requisitos del sistema de gestión de la calidad que pueden emplearse para su aplicación interna desde la perspectiva de demostrar la capacidad de una organización para satisfacer las necesidades de los clientes o con fines contractuales, centrándose en la eficiencia de la gestión de la calidad para satisfacer los requisitos del cliente.

La nueva Norma ISO 9001:2008, la cual anula a la anterior revisión del año 2000, contiene requisitos adicionales a las antiguas Normas ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003 del año 1994, a las cuales sustituye. Como se indica en la norma, las Normas ISO 9001 y 9004 han sido diseñadas para complementarse entre sí, aunque también pueden emplearse de forma independiente. La Norma ISO 9001:2008 se estructura en puntos claramente diferenciados para facilitar la comprensión y cumplimiento de los requisitos que en ella se recogen, abarca las principales áreas de organización y es compatible con otros sistemas de gestión, posibilitando su

integración con los sistemas de gestión ambiental ISO 14001 (Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso).

UNE-EN ISO 9004:2009

La Norma ISO 9004 proporciona las directrices para el aumento de la eficacia y la eficiencia globales de la organización. El objetivo de la norma es ayudar a la compañía, mediante un enfoque de gestión de la calidad, a lograr el éxito sostenido, es decir, hacia la mejora del rendimiento, teniendo en cuenta las necesidades de todas las partes interesadas, no sólo de los clientes. Como se indica en la norma, el éxito sostenido se logra satisfaciendo las necesidades y las expectativas de todas las partes interesadas, a largo plazo y de un modo equilibrado, pudiéndose lograr mediante la gestión eficaz, la toma de conciencia del entorno y de la organización, el aprendizaje y a través de la aplicación apropiada de mejoras, innovaciones o ambas.

Constituye, por lo tanto, una guía más amplia sobre la gestión de la calidad que la Norma ISO 9001 y se orienta a aquellas organizaciones que estén interesadas por la mejora continua y la evolución de su sistema de gestión de la calidad hacia modelos de excelencia o de calidad total. La Norma ISO 9004 analiza los requisitos expuestos en la Norma ISO 9001 desarrollándolos y aportando una serie de recomendaciones para la mejora sistemática y continua del desempeño de la organización.

En la figura 44, perteneciente a la Norma ISO 9004:2009, se observa un sistema de gestión de la calidad que incorpora los elementos de las Normas ISO 9001 e ISO 9004.

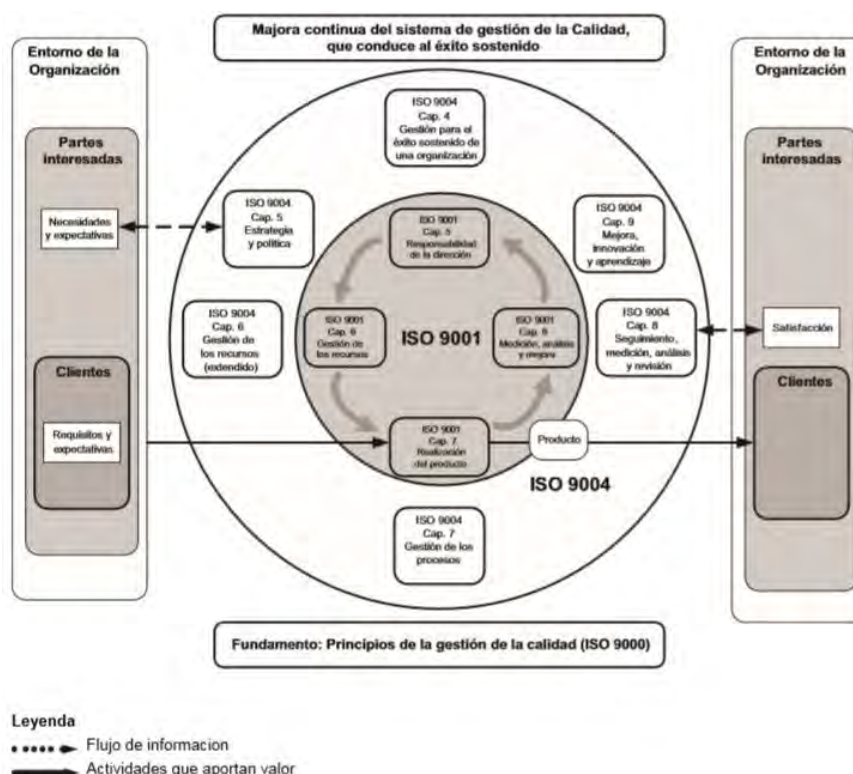


Figura 44: "Diagrama de gestión de calidad Norma ISO 9004"

La norma promueve la autoevaluación con el fin de identificar las fortalezas, debilidades y las oportunidades de mejora e innovación, analizando el nivel de madurez de la organización, abarcando su liderazgo, estrategia, sistema de gestión, recursos y procesos.

4.1.4. Herramientas básicas de control de calidad

En el presente apartado se presentan las siete herramientas básicas de control de calidad, utilizadas para el análisis de datos para la gestión de calidad. También denominadas “Herramientas de Ishikawa” deben su nombre a Kaoru Ishikawa, quien las recopiló para dotar a los operarios japoneses de los instrumentos apropiados para luchar contra los problemas que afectaban a la calidad de las empresas. Las siete herramientas son:

1. Hojas de control
2. Histograma
3. Diagrama de Pareto
4. Diagrama de causa-efecto
5. Diagramas de dispersión
6. Gráfico de control
7. Análisis de Estratificación

Hojas de control:

La hoja de control o registro, es un impreso que se emplea para reunir y clasificar la información según determinadas categorías (ver figura 45). Se basa en la anotación y registro de la frecuencia de ocurrencia de determinados sucesos. La hoja se diseña de manera que su uso sea fácil e interfiera lo menos posible con la actividad de quien realiza el registro. Entre las funciones de las hojas de datos se pueden encontrar:

- Distribución de variaciones de variables
- Clasificación de artículos defectuosos
- Localización de defectos en piezas
- Causas de los posibles defectos
- Verificación de chequeo o tareas de mantenimiento
- Chequeo de piezas
- Control de stock

			Pruebas en Banco										Resultado Ok	Resultado No Ok
Operario	Fecha	Número de Serie	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10		
Total														

Figura 45: “Ejemplo de hoja de control”

Histograma

Se trata de una representación gráfica de una variable en forma de barras donde la superficie de cada una es proporcional a la frecuencia de los valores representados. En el eje vertical se sitúan la frecuencia absoluta, mientras que en el horizontal se representan los valores de las variables, continuas o discretas (ver figura 46). Este tipo de gráfico permite la comparación de

los resultados de un proceso, comprobando visualmente la forma, la tendencia y dispersión o variabilidad de los resultados.

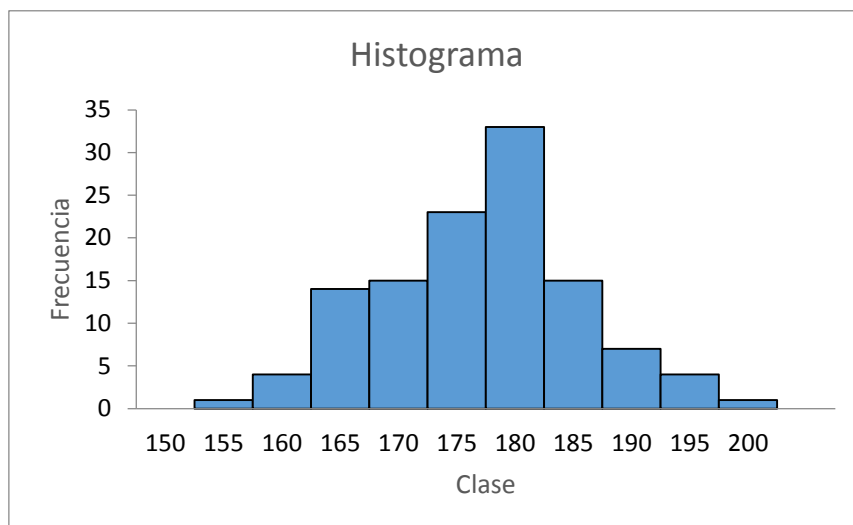


Figura 46: “Ejemplo histograma”

La figura 47 recoge algunos ejemplos de posibles distribuciones:

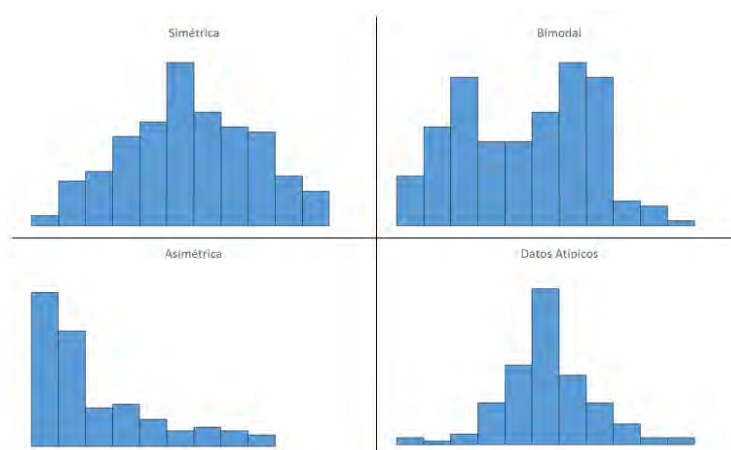


Figura 47: “Ejemplos de distribuciones de histograma”

Las distribuciones multimodales suelen ser fruto de la mezcla de datos de diferentes poblaciones. Por ello es importante realizar una estratificación de los datos a analizar.

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta gráfica empleada para priorizar los problemas o posibles causas de fallo. El nombre se debe al economista Vilfredo Pareto, cuyo concepto sobre la distribución de la riqueza se conoce hoy en día como regla 80/20 o regla de Pareto. Según este concepto, orientado a la gestión de calidad, el 80% de los defectos se deben al 20% de los procesos o causas.

La gráfica permite realizar una comparación cuantitativa y ordenada de los elementos o factores que intervienen según su contribución en un determinado efecto. Los factores o causas se organizan de forma descendente, de izquierda a derecha, en función de la frecuencia

de ocurrencia, situándose sobre el diagrama de barras un diagrama que representa la frecuencia acumulada. Donde la frecuencia acumulada alcance el 80% se obtendrán las principales causas de fallo. La figura 48 muestra un ejemplo de diagrama de Pareto.

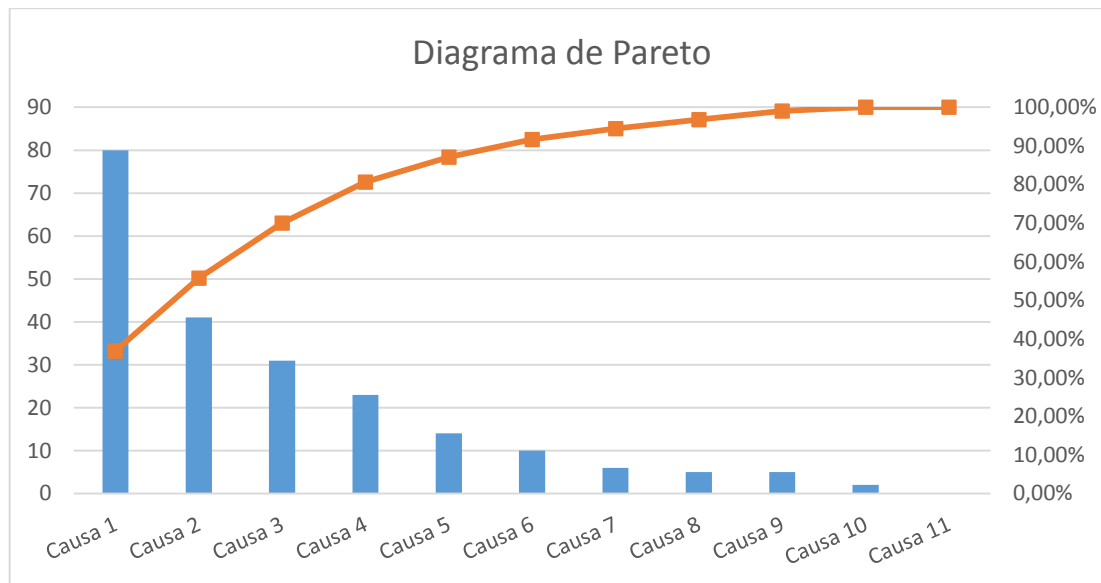


Figura 48: "Ejemplo de diagrama de Pareto"

Diagrama de causa-efecto

El diagrama de Ishikawa, nombre que hace referencia a su creador, se trata de un diagrama que, por su estructura, se ha denominado también diagrama de espina de pez. Consiste en una representación gráfica sencilla en la que se sitúa el problema a estudiar en la cabeza del mismo (ver figura 49), de la cual parte una línea horizontal hacia la izquierda (espina dorsal de un esqueleto de pez). De la línea horizontal se trazan líneas en ángulo donde se escriben las causas primarias que pueden afectar al problema bajo análisis; estas causas se agrupan según categorías como método, mano de obra, maquinaria, materiales y medio ambiente. A partir de estas causas primarias se definen para cada grupo las causas secundarias, y terciarias, que pueden llevar al problema. Por último, se asigna un factor de importancia a cada posible causa y se marcan aquellas que puedan tener un efecto significativo sobre el problema.

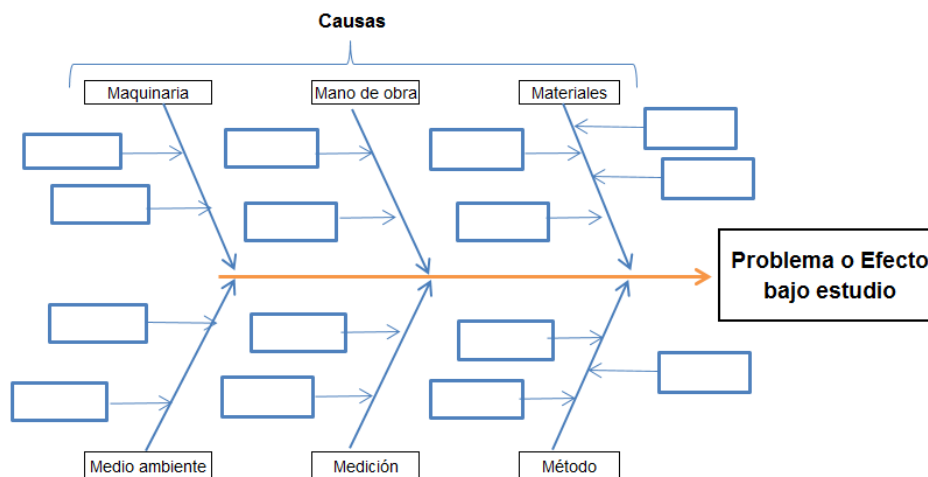


Figura 49: "Ejemplo diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa"

Este tipo de diagrama se emplea para descubrir de manera sistemática la relación de causas y efectos que afectan a un determinado problema, así como subdividir las causas principales. Por lo tanto, se trata de una herramienta que permite visualizar las principales causas, analizar un proceso en busca de mejoras, analizar modificaciones de procesos y prever posibles problemas futuros, entre otras aplicaciones. Al igual que el resto de herramientas, el diagrama de causa efecto presenta limitaciones ya que depende en gran medida del grado de conocimiento de las personas involucradas en el análisis, y debe de complementarse con otros estudios.

Diagramas de dispersión

Se trata de un tipo de diagrama cuya función principal es la de mostrar la relación que existe entre los valores numéricos de diferentes series de datos sobre los ejes de coordenadas "XY". Cuando entre dos variables existe una correlación total, se cumple que a cada valor de una le corresponde un único valor de la otra, y los datos quedan representados como una nube de puntos (ver figura 50).

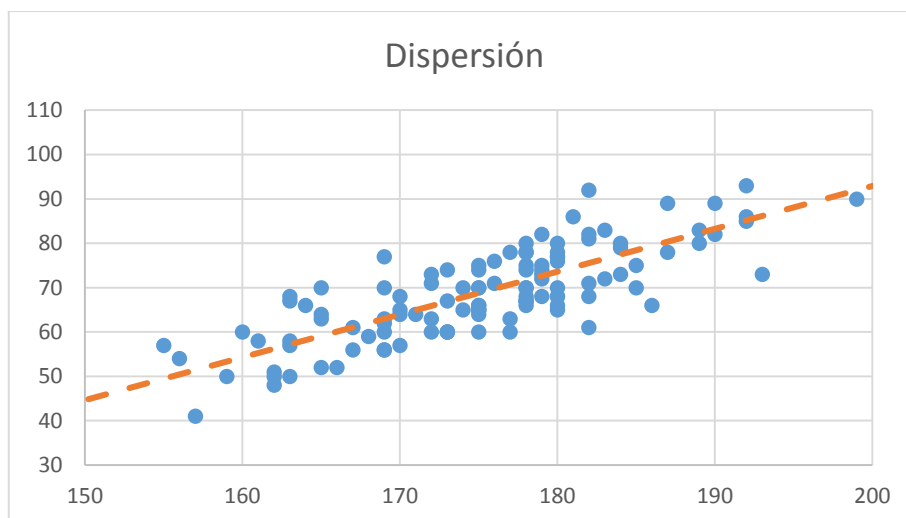


Figura 50: "Ejemplo diagrama de dispersión"

El diagrama de dispersión permite identificar la posible relación entre dos variables. Conociendo esta relación se puede llegar a decidir cómo controlar un conjunto de variables para llegar a obtener una característica de calidad deseada. La relación entre las dos variables bajo estudio se puede obtener descriptivamente, por medio del coeficiente de correlación, que se define como el cociente entre la covarianza y el producto de las desviaciones típicas de ambas variables:

$$R_{xy} = \frac{\text{Covarianza}}{\text{Desviación típica } x \cdot \text{Desviación típica } y}$$

Los valores de R oscilan entre -1 y 1; cuanto más cercano sea el valor de R a dichos valores, mejor será el ajuste de la recta de regresión. Un valor de R = 0 indica que no existe relación lineal entre las dos variables pero puede existir otro tipo de relación (logarítmica, exponencial,

etc.). Un valor positivo de R indica que la recta tiene una tendencia creciente hacia la derecha, mientras que un valor negativo indica una tendencia decreciente.

Gráfico de control

Representación gráfica lineal que permite visualizar los distintos valores que toma una característica correspondiente a un proceso y su comportamiento con respecto a unos límites determinados estadísticamente, en función del análisis a realizar (ver figura 51). Con ello, se puede observar la evolución de dicho proceso en el tiempo y compararlo con los límites de variación fijados de antemano que se usan como base para la toma de decisiones. Con este tipo de análisis se puede estudiar la variación de un proceso y comprobar si el proceso está bajo control, así como la capacidad del mismo.

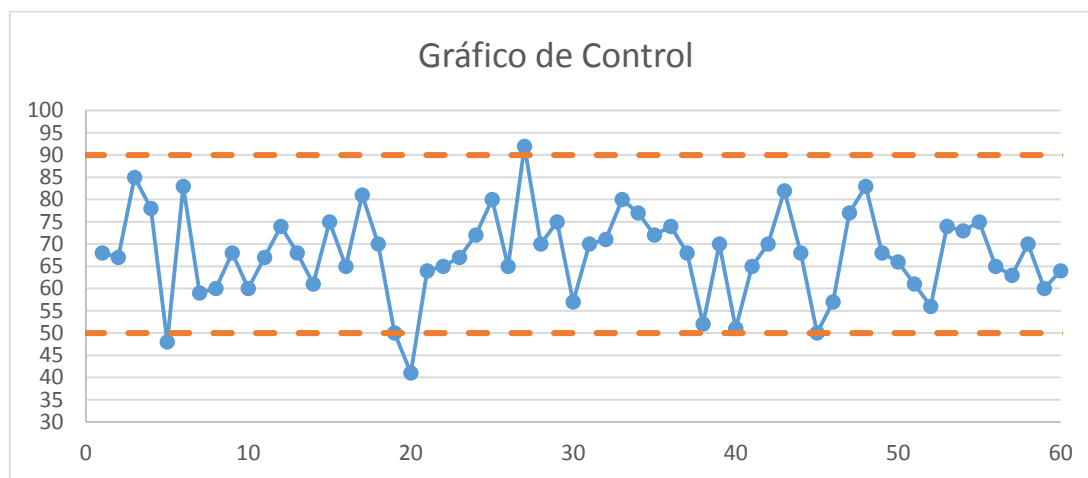


Figura 51: "Ejemplo de gráfico de control"

Al igual que el resto de herramientas expuestas, un gráfico de control se trata de un instrumento con limitaciones que debe de ser empleado como parte de un estudio más amplio.

Análisis de estratificación

Es una herramienta estadística que clasifica los datos de una población en grupos, denominados estratos, con similares características, para así analizarlos y determinar causas comunes de su comportamiento. Se emplea comúnmente durante la etapa de diagnóstico con el fin de identificar las causas de los problemas analizados, de esta forma se puede obtener una comprensión detallada de la estructura de una población de datos, examinando la diferencia en los valores promedio y la variación en los diferentes grupos.

La estratificación supone la base para otras herramientas presentadas anteriormente, como el diagrama de Pareto, y se utiliza conjuntamente con otras herramientas, como los diagramas de dispersión o el histograma.

Capítulo V: Modelo de transmisión sometido a estudio

5.1. Caja de transmisión “PRODRIVE”

El siguiente capítulo pretende presentar y describir el nuevo modelo de transmisión para cosechadora ProDrive, sus características técnicas, físicas y mecánicas, así como su funcionamiento. Por otro lado se describe el proceso de ensamblado de la transmisión desde los premontajes hasta el montaje final.

5.1.1. Descripción técnica

El modelo ProDrive es una caja de cambios automática que cuenta con dos velocidades mediante una configuración de engranajes planetarios. Estas relaciones están pensadas para configurarse en función a las necesidades del terreno y de recolección. Para ofrecer la velocidad idónea a cada circunstancia, este modelo permite variar la velocidad de avance de modo infinitesimal mediante un sistema de embragues.

El control se realiza desde la cabina mediante una palanca multifunción en la que se pueden seleccionar los dos modos de marcha, o rango de velocidades, ofreciendo 40 kilómetros/hora para el uso en carretera y hasta 20 kilómetros/hora en el campo. El primer modo puede configurarse para velocidades típicas de cosecha mientras el segundo permite alcanzar las velocidades más altas; mediante el control de mando el operador puede designar la velocidad máxima que desea alcanzar en cada modo. La velocidad máxima de avance en cualquier rango se puede ajustar en un valor de 0 a 24, pero la velocidad del modo uno no puede ser superior a la velocidad máxima del segundo modo. Dependiendo del modo seleccionado y los datos registrados por el ordenador, la unidad de control de accionamiento selecciona automáticamente la velocidad de avance más adecuada a las condiciones.

La siguiente ilustración (figura 52) muestra el modelo de transmisión para cosechadora ProDrive que será analizado en el presente proyecto.

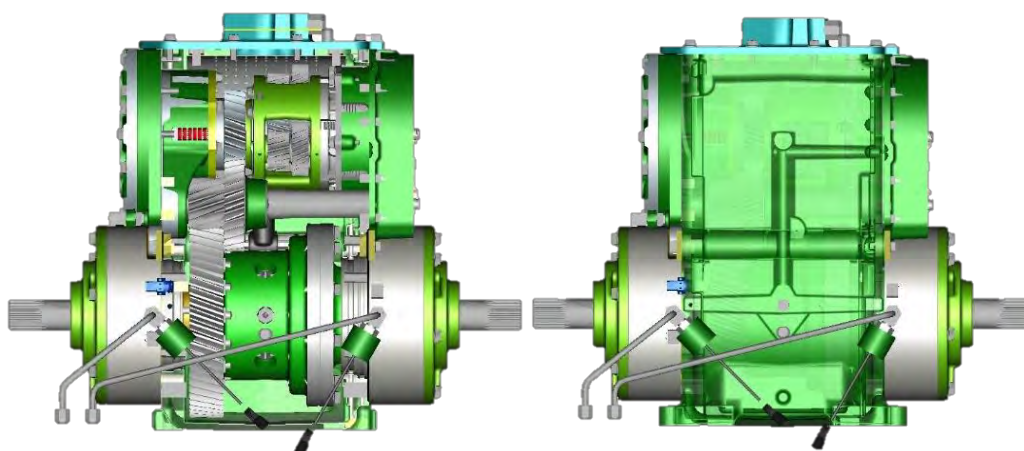


Figura 52: “Transmisión para cosechadora ProDrive DE30056”

La potencia necesaria para el accionamiento de los distintos mecanismos que constituyen la cosechadora proviene de un único motor diésel. A diferencia de la configuración habitual de un vehículo, la potencia no se transmite directamente a las ruedas. El motor térmico hace circular un fluido hidráulico hasta una bomba donde se incrementa la presión; este aumento de presión acciona un motor hidráulico, de bajo par y elevadas revoluciones, que se encuentra conectado al eje de entra de la transmisión ProDrive mediante un coupler intermedio. Mediante el sistema de engranajes de la transmisión, el movimiento de bajo par es transformado en un movimiento de pocas revoluciones pero elevado torsor. Por último, este movimiento es transmitido al mando final y a las ruedas de la cosechadora.

Como se expone más adelante, esta caja está equipada con un diferencial integrado en la propia transmisión. El operador puede fijar el bloqueo del diferencial de modo manual o automático. También cuenta con frenos de disco húmedos por accionamiento hidráulico; cada freno está compuesto por 4 discos de fricción por eje. El sistema de frenado está constituido a su vez por un freno de estacionamiento que se activa de forma automática en la posición de punto muerto o por pérdida de presión de los frenos de servicio; también puede accionarse el freno de estacionamiento mediante un botón en la consola de mando.

En comparación a los otros modelos disponibles (3velocidades y PBST), la ProDrive proporciona una mayor fuerza de empuje, como puede verse en la figura 53. Además no hay necesidad de detener la cosechadora para cambiar de marcha, aumenta la productividad de recolección en todo tipo de terrenos y disminuye el tiempo de cambio de marcha, con el beneficio añadido del cambio automático que permite al operador estar pendiente de la recolección sin tener que estar atento a la marcha.

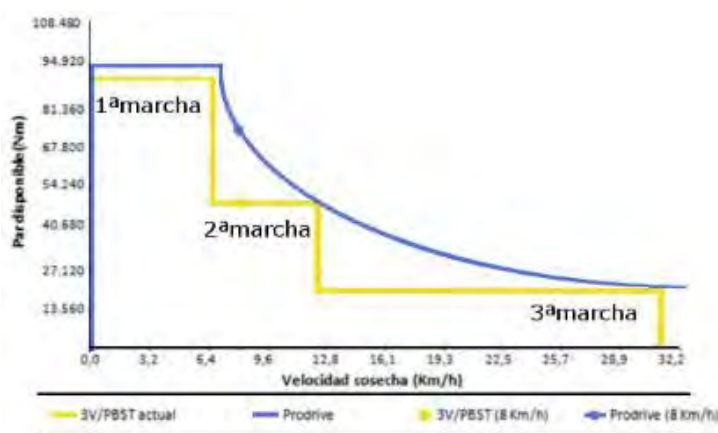


Figura 53: "Gráfico comparativo entre distintos modelos de transmisión para cosechadora"

5.1.1.1 Descripción física

La ProDrive es una transmisión de engranajes de aspecto trapezoidal y con una masa de aproximadamente 420 Kg y unas dimensiones son de 420mm de altura, 810 mm de distancia entre ejes y 660 mm de ancho. Cuenta con cuatro puntos de anclaje para fijarla en el chasis de la cosechadora.

Como se expuso en el apartado anterior, la transmisión cuenta con dos rangos de velocidades, el modo de velocidad baja se denomina "Lo-Brake" y el modo de velocidad alta "Hi-Clutch"; en

función de la posición de la palanca de mando, la marcha seleccionada y la presión del sistema, el software decide y actúa sobre el circuito hidráulico mediante un sistema de electroválvulas, manteniendo la velocidad más adecuada según las necesidades y los requerimientos del conductor. Mediante un conjunto de doble embrague, el sistema selecciona la relación deseada de forma mecánica, sin embargo, la transición continua de velocidad se consigue variando el régimen del motor hidráulico que transmite la potencia a la transmisión por el eje de entrada.

Actualmente existen diferentes modelos de ProDrive (ver figura 54 a, b y c) cuya configuración interna y componentes difieren en ciertos aspectos, siendo el principio básico de funcionamiento común a todos. Por ejemplo, el modelo DE20745 tiene localizado el freno de estacionamiento junto al freno de servicio con un accionamiento mediante un circuito externo; por el contrario, el modelo DE30056 cuenta con un circuito de mecanizado interno y un freno de servicio localizado en el eje de entrada.

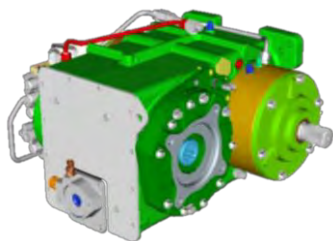


Figura 54-a: "Modelo DE20902"

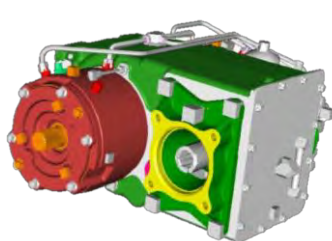


Figura 54-b: "Modelo DE20745"



Figura 54-c: "Modelo DE30056"

El freno de estacionamiento se encuentra normalmente activado mediante la acción de un sistema de arandelas Belleville, lo que impide el avance de la cosechadora. Cuando el controlador decide comenzar la marcha debe pulsar el botón de freno de estacionamiento; en este momento se desactiva mediante un circuito de aceite presurizado de 28-25 bares. A su vez cuenta con una válvula de seguridad que mantiene la presión en el pistón evitando que, en caso de pérdida de presión en el circuito, se active el freno c la máquina en circulación.

Los frenos de servicio son también de accionamiento hidráulico. A diferencia del freno de estacionamiento, no se encuentran activos hasta que el operador no pisa el pedal de freno. Las cosechadoras cuentan con dos pedales de freno que permiten actuar de forma independiente en cada uno cuando el sistema está en modo de campo, por el contrario, en circulación los frenos de servicio se activan como conjunto.

Otra diferencia entre modelos reside en el modo de lubricación. Todos los modelos cuentan con un cuerpo de válvulas (sistema de control hidráulico) encargado del control y gestión de la transmisión. El cuerpo de válvulas es el actuador sobre el sistema de lubricación y embragues para la selección de la marcha y la activación de los frenos. Según el modelo, la lubricación puede ser de cárter seco (DE30056) o húmedo (DE20745), pero ambos sistemas cuentan con un nivel de aceite interno que permite refrigerar y lubricar el sistema por barboteo.

5.1.1.2 Descripción funcional

Funcionalmente, se trata de una transmisión automática que controla la relación de transmisión que llega a los mandos finales de la cosechadora. La relación se define a través del doble embrague situado en el denominado eje de entrada que contiene el sistema de planetarios. Cada embrague tiene dos posiciones y, por lo tanto, la combinación de ambos da lugar a cuatro posiciones posibles: punto neutro, primera, segunda y transmisión bloqueada.

Como puede verse en la figura 55, la ProDrive está compuesta por catorce elementos principales:

- Cuerpo de válvulas
- Tapa del cuerpo de válvulas
- Eje de entrada
- Deflector
- Tapa frontal
- Filtro
- Diferencial
- Eje Intermedio
- Freno de estacionamiento
- Freno de servicio inferior
- Transportador inferior
- Carcasa
- Transportador superior
- Freno de servicio superior

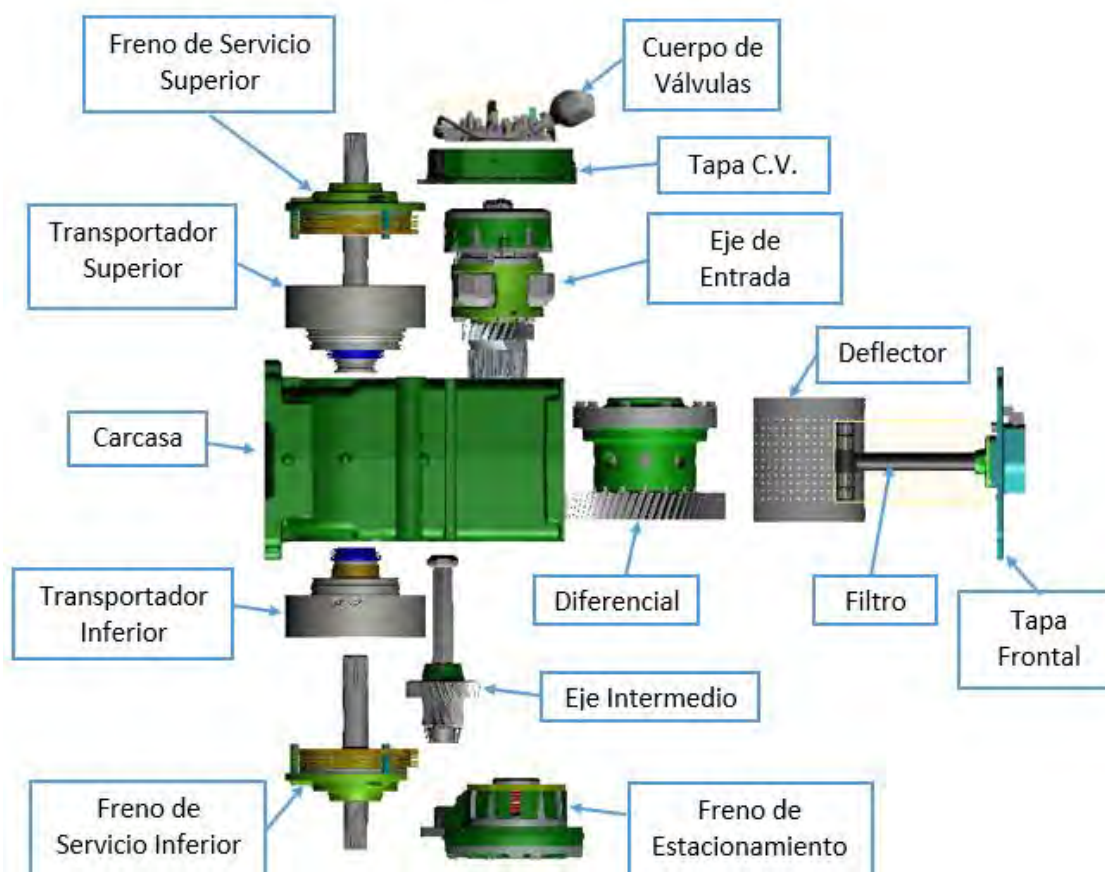


Figura 55: "Elementos principales de la transmisión ProDrive DE30056"

A continuación se detalla el funcionamiento de los elementos principales de la transmisión.

a) Cuerpo de válvulas

El cuerpo de válvulas (figura 56), o distribuidor hidráulico, es el elemento encargado de controlar y gestionar la transmisión. Mediante un sistema de electroválvulas reguladas en corriente, el cuerpo de válvulas distribuye y regula la presión del aceite en función de las señales que recibe, dirigiendo de este modo el aceite a la presión necesaria a los distintos embragues y sistemas de lubricación a través de los denominados canales de aceite.

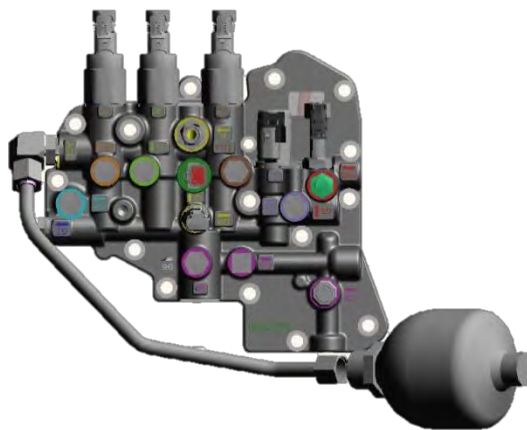


Figura 56: "Cuerpo de válvulas de la transmisión"

Tanto el nivel como la temperatura del aceite son críticos para el correcto funcionamiento de la transmisión, por ello el sistema cuenta con un sensor de temperatura que asegura que la transmisión funcione en el rango óptimo de trabajo. A su vez, un sensor de velocidad mide las revoluciones de salida en el diferencial.

El freno de estacionamiento posee un sensor propio dedicado a la monitorización de la presión en este elemento y una válvula de seguridad que mantiene la presión en caso de fallo.

b) Eje de entrada

El eje de entrada (figura 57) está compuesto principalmente por un solar, un juego de planetarios, un eje longitudinal y un sistema de doble embrague. La entrada de potencia a la transmisión se realiza mediante un motor hidráulico o bomba de pistón axial que, mediante un acoplamiento estriado, engrana con el eje longitudinal.



Figura 57: "Eje de entrada modelo DE30056"

El sistema de doble embrague se encarga de realizar el cambio entre las relaciones de marcha.; el embrague superior se denomina "Brake" y el inferior "Clutch", contando ambos con dos posiciones "Hi" y "Lo", que indican si el embrague permanece libre o activo. La combinación de ambos embragues permite obtener cuatro estados diferentes (ver tabla 5):

Tabla 5: “Combinación de embragues del eje de entrada para las relaciones de transmisión”

Hi/Lo-Brake		Hi/Lo-Clutch		Transmisión
Desactivo	■	Desactivo	■	Neutro
Activo	■	Desactivo	■	Primera relación
Desactivo	■	Activo	■	Segunda relación
Activo	■	Activo	■	Bloqueada

El estado de punto neutro solo se admite durante el proceso de arranque, calibración o remolque. Si la transmisión está en segunda relación, un cambio hacia abajo sólo se realiza si es necesario, o si las capacidades de aceleración se mejoran drásticamente. En caso de sobrecalentamiento, se realiza un cambio ascendente con el fin de mejorar la eficiencia.

Durante el cambio de relación, ambos embragues se encuentran parcialmente activados. Un pistón comienza a llenarse de aceite para activar el embrague, mientras que el pistón del segundo embrague evacua el fluido de su interior. Este cambio simultáneo permite transmitir par a las ruedas durante el proceso de cambio de marchar. Los tiempos de llenado de los pistones de ambos embragues se corrigen en función de la velocidad del motor; esto es debido a que la velocidad de rotación de la bomba hidráulica varía proporcionalmente con la velocidad del motor, lo que se traduce en un mayor tiempo de llenado a bajas revoluciones.

Primera velocidad

Controlado por el cuerpo de válvulas, se introduce aceite a presión a través de unos casquillos y un circuito interno alojado en la tapa del eje de entrada. El aceite presurizado ejerce una fuerza opuesta a la de las arandelas Bellevilles que actúan como sistema resorte. Una vez la fuerza del aceite supera la de los resortes, el pistón se desplaza presionando los discos de fricción contra los discos de embrague solidarios a la tapa superior del eje de entrada, activándose así el embrague. Una vez activado el embrague superior, la cazoleta del segundo embrague y el portasatélites quedan estáticos, el conjunto planetario engrana con el eje interior, reduciendo la relación de transmisión a la salida del solar.

$$\frac{\text{dientes eje interior}}{\text{dientes planetario superior}} \cdot \frac{\text{dientes planetario inferior}}{\text{dientes piñón solar}} = \frac{21}{30} \cdot \frac{18}{25} = 0,504$$

La relación obtenida por la primera velocidad del eje de entrada es de 0,504. La relación de velocidad obtenida a la salida de la transmisión, suponiendo que ambos ejes giran por igual, es de 0,126.

$$\text{Relación primera} \cdot \frac{\text{dientes solar exterior}}{\text{dientes eje intermedio superior}} \cdot \frac{\text{dientes eje intermedio inferior}}{\text{dientes corona diferencial}}$$

$$\text{Relación de primera} = 0,504 \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{13}{60} = 0,126$$

La siguiente ilustración (figura 58) muestra un esquema del flujo de potencia a través de la transmisión cuando se activa la primera relación, es decir, cuando el embrague “Hi/Lo-Brake” se encuentra activado.

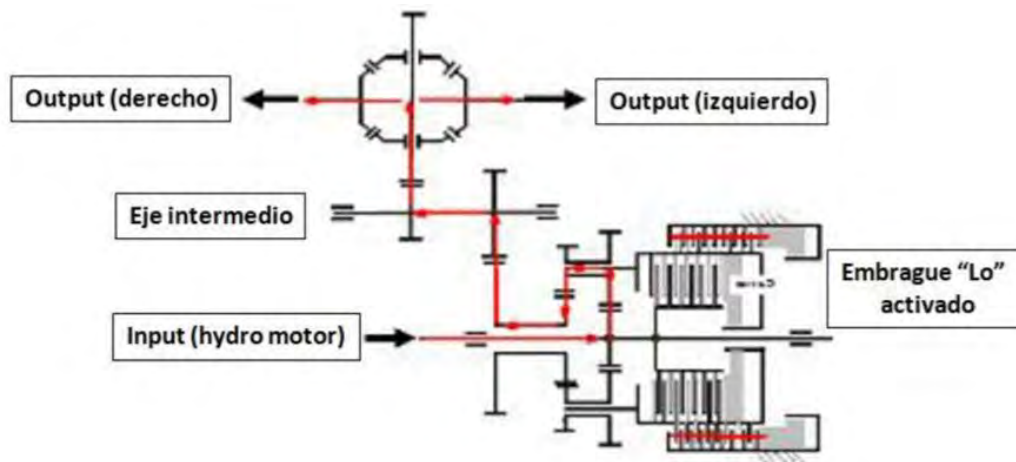


Figura 58: “Esquema del flujo de potencia de la primera velocidad”

Segunda Velocidad

Para la relación superior, o segunda velocidad, se desactiva el embrague “Hi/Lo-Brake” y se activa el embrague inferior denominado “Hi/Lo-Clutch”. Al igual que para el caso anterior, se introduce aceite presurizado que ejerce una fuerza opuesta a la realizada por el sistema de resortes, compuestos por un conjunto de arandelas Belleville. Cuando se supera la fuerza de los resortes el pistón del embrague se desplaza presionando los ferodos contra los platos de embrague; en este caso, los platos se encuentran unidos a la cazoleta del segundo embrague, mientras que los discos de fricción permanecen unidos al cubo solidario al eje longitudinal.

Con la activación del segundo embrague se iguala la velocidad de la cazoleta del segundo embrague y con ello el portasatélites a la velocidad de entrada. Se logra una relación de transmisión directa, es decir, la relación de transmisión es de 1. La relación obtenida para toda la transmisión es de 0,25.

$$\text{Relación segunda} \cdot \frac{\text{dientes solar exterior}}{\text{dientes eje intermedio superior}} \cdot \frac{\text{dientes eje intermedio inferior}}{\text{dientes corona}}$$

$$\text{Relación de segunda} = 1 \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{13}{60} = 0,25$$

La siguiente ilustración (figura 59) muestra un esquema del flujo de potencia a través de la transmisión cuando se activa la segunda relación, es decir, cuando el embrague “Hi/Lo-Clutch” se encuentra activado.

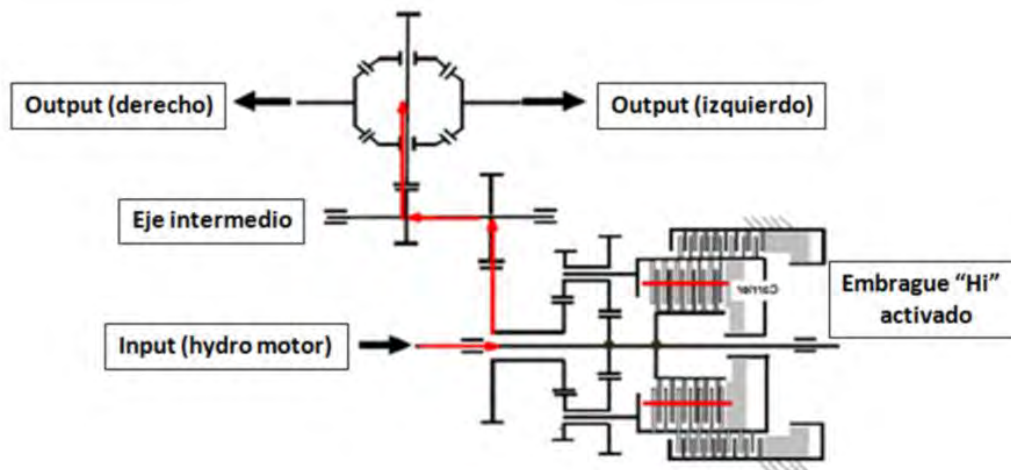


Figura 59: "Esquema del flujo de potencia de la segunda velocidad"

c) Eje Intermedio

Es el elemento encargado de transmitir la potencia desde el eje de entrada al diferencial. Está compuesto por dos engranajes. El primero de los engranajes con 26 dientes engrana con la salida del eje de entrada cuya relación depende de la marcha seleccionada; el segundo de los engranajes cuenta con 13 dientes y engrana con la corona del diferencial.

d) Freno de servicio

El freno de servicio es el sistema de frenado principal o primario. Se emplea para reducir la velocidad de marcha o detener completamente el vehículo. Los frenos de ambos ejes se accionan de forma independiente mediante dos pedales situados en la cabina de mandos, como puede observarse en la (figura 60). Si el diferencial permanece desbloqueado, el operador puede pisar los frenos por separado para realizar giros cerrados, en caso de pérdida de tracción, o hacerlos solidarios cuando circula por carretera.

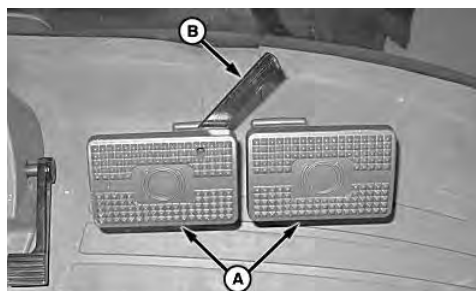


Figura 60: "Pedales de freno de servicio de cosechadora"

El sistema de freno de servicio está compuesto por los transportadores y los frenos propiamente dichos. Los transportadores se encuentran unidos solidariamente a la carcasa de la transmisión, y sirven de soporte a los frenos; también cuentan con un circuito interno de aceite y un pistón encargado de presionar los ferodos. Por otro lado, cada freno está compuesto por cuatro discos de fricción que giran solidarios al eje y cuatro separadores o platos de embrague unidos a la carcasa del freno; la unión se realiza por un sistema de tornillos que alojan unos muelles de recuperación. La máxima capacidad de frenado se alcanza mediante la aplicación de una presión de 70 bares en el sistema.

Principio de funcionamiento:

Cuando el operador presiona uno o ambos pedales, la presión del circuito de freno aumenta, alcanzándose la capacidad máxima de frenado a una presión de 70 bares. Este aumento de presión se transmite a través de una tubería externa hasta los transportadores; el incremento de presión se traduce en un desplazamiento del pistón que empuja los platos contra los discos de fricción. La fuerza de fricción hace que el eje, solidario a los discos, reduzca su velocidad hasta hacer solidario el conjunto y detener el vehículo. Cuando se deja de producir presión, un sistema de resortes produce el movimiento contrario devolviendo los platos a su posición inicial, lo cual empuja el pistón del transportador, y los ejes quedan libres de nuevo. La figura 61 muestra el circuito de activación de los frenos de servicio.

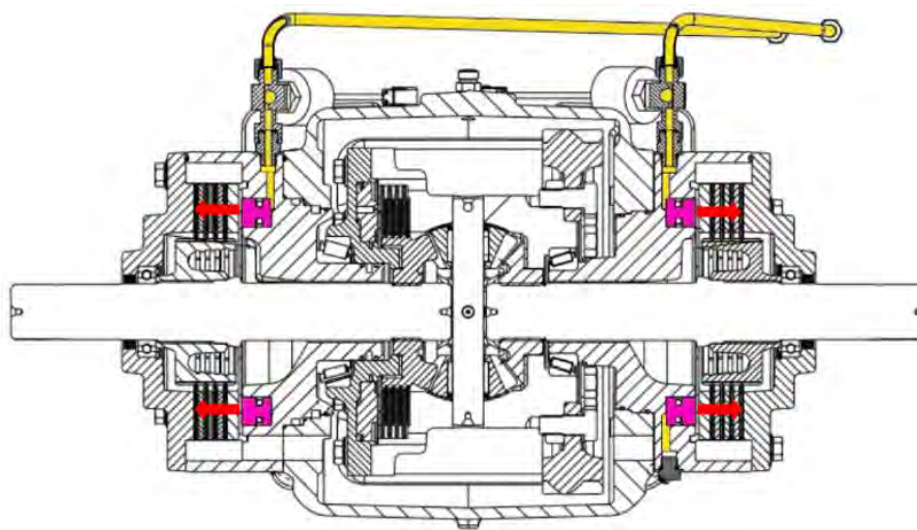


Figura 61: "Esquema de actuación de los frenos de servicio"

e) Diferencial

Los elementos principales del diferencial son comunes a los elementos de un diferencial convencional; está constituido por una corona, dos piñones satélites, dos piñones planetarios y una caja o carcasa. El diferencial del modelo a estudio cuenta a su vez con un sistema de bloqueo electrohidráulico.

El diferencial se encuentra dentro de la transmisión y recibe la potencia a través del eje intermedio. Su función es la de distribuir dicha potencia entre los ejes de salida según las condiciones de circulación. Cuando el bloqueo está desactivado, el diferencial permite que los ejes de salida giren a distintas revoluciones y la cosechadora pueda maniobrar correctamente.

En caso de pérdida de tracción, el operador puede activar el bloqueo mediante un botón situado en la consola de mandos. El bloqueo activa hidráulicamente un embrague interno al diferencial haciendo que los ejes de salida giren de forma solidaria. Con ello se consigue que el operador no tenga que controlar el deslizamiento de las ruedas mediante los sistemas de freno independiente. En caso de que el operador pise uno de los frenos, o pulse el botón correspondiente, el bloqueo se desactiva.

Bloqueo del diferencial:

Desde el cuerpo de válvulas, el aceite se conduce a través de la carcasa de la transmisión hasta el transportador; del transportador el aceite es desviado hasta el pistón del diferencial. La presión empuja el pistón contra los ferodos del embrague bloqueando el sistema y asegurando que las revoluciones a la salida de ambos ejes sean las mismas. El pistón cuenta con un orificio de pequeño diámetro que sirve de circuito de descarga de aceite y lubricación de los ferodos.

La figura 62 muestra el circuito del diferencial y el sentido de activación del pistón junto con la salida de aceite hacia los ferodos y platos del embrague.

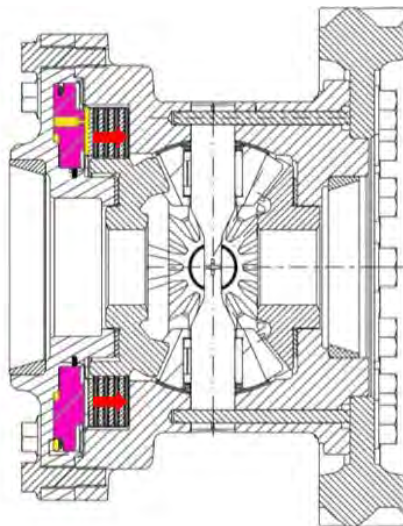


Figura 62: "Esquema de actuación del sistema de bloqueo del diferencial"

f) Freno de aparcamiento

En el modelo a estudio, el freno de estacionamiento es un elemento separado del sistema de freno de servicio; en modelos anteriores el freno de estacionamiento se encontraba junto a los transportadores y ambos sistemas se activaban por un sistema de doble embrague.

El sistema de frenado está diseñado de modo que el freno se encuentra activado en todo momento a no ser que se aplique presión al sistema. El sistema se puede activar manualmente por actuación del operador, aunque también se activa cuando la palanca de control se mueve hasta la posición neutral o se detiene el motor.

Principio de funcionamiento:

El principio de funcionamiento es similar al freno de servicio. El freno está compuesto por un conjunto de discos de fricción, acoplados al eje de entrada, alternados con platos de presión. Un sistema de arandelas Belleville mantiene presionado el pistón contra los platos y, por lo tanto, contra los ferodos, haciendo que el eje de entrada quede bloqueado. En caso de que el eje de entrada estuviese rotando la fricción de los discos hace que el conjunto se detenga.

Para liberar el sistema, el cuerpo de válvulas circula aceite presurizado hacia el pistón que comienza a deslizarse. Cuando la presión que ejerce el pistón supera a la ejercida por el resorte, las arandelas se comprimen y los discos, junto con el eje de entrada, quedan libres, haciendo que la cosechadora pueda iniciar la marcha. La presión de trabajo para liberar el freno es de 25 a 28 bares.

La figura 63 ilustra el pistón del freno de estacionamiento y el sentido de avance del mismo. También se puede observar la cámara de aceite.

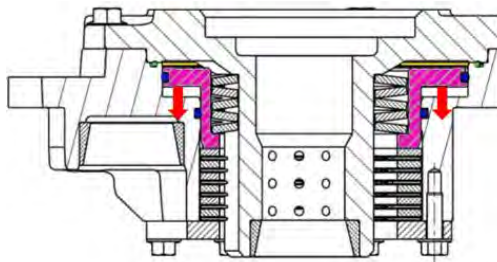


Figura 63: “Esquema de actuación de desactivación del freno de estacionamiento”

5.1.2. Proceso de montaje

En este apartado se presenta el proceso de montaje de la transmisión ProDrive. Se trata de un proceso complejo en el que intervienen un gran número de piezas; en total la transmisión está compuesta por más de 800 piezas sin ensamblar. El proceso de ensamblado se realiza en una línea multimodelo, asincrónica y con una configuración circular cerrada. La línea se encuentra dividida en premontajes y montaje final, con un final cerrado para permitir el retorno de los carros a la zona de premontajes una vez se ha finalizado el ensamblaje. La siguiente imagen (figura 64) ilustra las estaciones de montaje en que está dividida la cadena.

El sistema de transporte es un sistema por suelo y dos carros por transmisión. El primer carro cuenta con una plataforma de trabajo en la cual se produce el ensamblaje del equipo, mientras el otro carro está compuesto por un kit que contiene los premontajes.

El movimiento de los carros viene definido por la siguiente secuencia: los carros vacíos procedentes del último puesto de montaje se retornan al primer puesto de premontajes. A partir de aquí se van añadiendo en el kit del carro en cada puesto el premontaje correspondiente: diferencial, eje intermedio, dos transportadores, eje de entrada, dos frenos de servicio y un freno de estacionamiento. Una vez completo el kit, los carros se envían al primer puesto de la zona de montaje final, donde se sitúa la carcasa de la transmisión sobre el carro de montaje. Desde el puesto 1 hasta el 6 se lleva a cabo el ensamblado de la transmisión. En el puesto 6, si la caja ha completado el montaje y los ensayos satisfactoriamente se envía al banco de rodadura, donde se realiza un último ensayo; por el contrario, si la transmisión presenta algún defecto se deriva al puesto de reproceso. Las transmisiones que completan satisfactoriamente el proceso de montaje, ensayo hidráulico y ensayo de rodadura, se envían a la línea de pintura y embalaje.

Cada puesto dispone de los equipos de producción necesarios para garantizar la calidad del producto así como la seguridad de los empleados; por ello cada estación cuenta con puentes grúa y polipastos para la correcta manipulación de los elementos. También cuentan con llaves neumáticas para la aproximación de tornillos y tuercas, llaves dinamométricas calibradas en mesa para aplicación de pares. Los puestos cuentan a su vez con un atornillador eléctrico, equipado con brazo de reacción de par y un controlador de par y proceso. Todo el proceso de montaje está unido a un sistema de trazabilidad que registra las operaciones realizadas en cada fase, las referencias montadas, los pares de apriete y los valores de los reglajes realizados; también se registra para cada transmisión los resultados obtenidos en los bancos de ensayo.

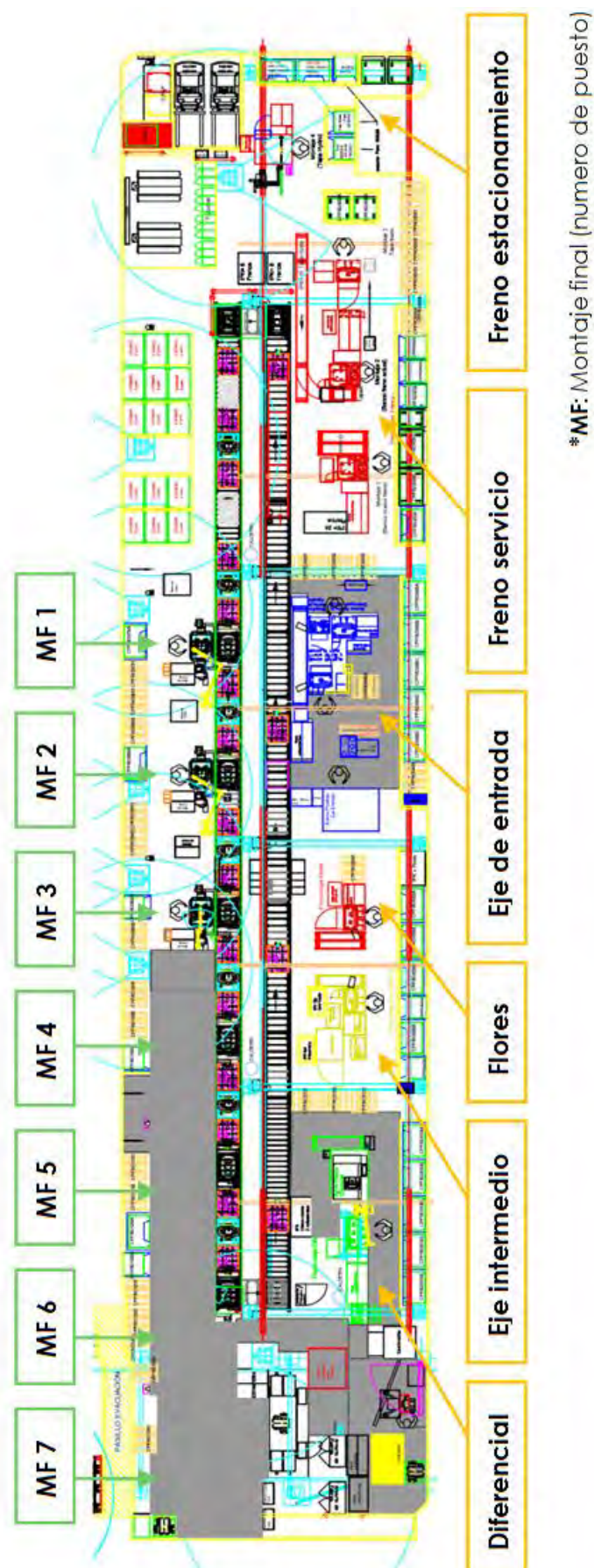


Figura 64: "Lay-out de la línea de montaje ProDrive"

Todas las herramientas de producción se complementan con un adecuado mantenimiento para asegurar la continuidad de la capacidad del proceso y la calidad del producto final. También se cuenta con un sistema de capacitación que asegura que los operarios conozcan el proceso de montaje, así como documentación de todo el proceso de ensamblado que recoge los pasos a seguir en cada puesto.

5.1.2.1. Premontajes

La zona de premontajes está compuesta por seis estaciones:

- Diferencial
- Eje intermedio
- Transportadores
- Eje de entrada
- Freno de servicio
- Freno de estacionamiento

Como hemos indicado anteriormente, la línea de montaje es asíncrona, es decir, los tiempos de producción en cada fase son diferentes. En el caso de la línea ProDrive, los tiempos de trabajo de los puestos de montaje final están equilibrados entre sí pero no con los puestos de premontajes. Este hecho hace que el tiempo de ciclo esté desequilibrado, generando cuellos de botella. Para equilibrar la zona de premontajes con el montaje final, y conseguir un flujo continuo, es necesario introducir buffer o inventarios de producto terminado en la zona de premontajes. Estos inventarios intermedios se denominan IPK (In Kanban Process).

Cada puesto cuenta con un IPK. Cuando el producto está terminado se deposita en los kits del carro o se almacenan en los inventarios intermedios, en función de las necesidades de la línea. Las estaciones de premontaje son las siguientes:

Premontaje del diferencial:

Formado por 159 piezas, el diferencial puede dividirse en cinco partes principales: caja, corona, satélites, planetarios y embrague (ver figura 65). El diferencial engrana con el eje intermedio a través de la corona. En el interior de la carcasa se encuentran los satélites y planetarios que transmiten la potencia a los ejes de salida. En el lado opuesto a la corona se encuentra el embrague que permite bloquear el sistema, haciendo que el giro se transmita por igual a ambos ejes. La estanqueidad del pistón del embrague se asegura mediante juntas tóricas y retenes que evitan la pérdida de presión.

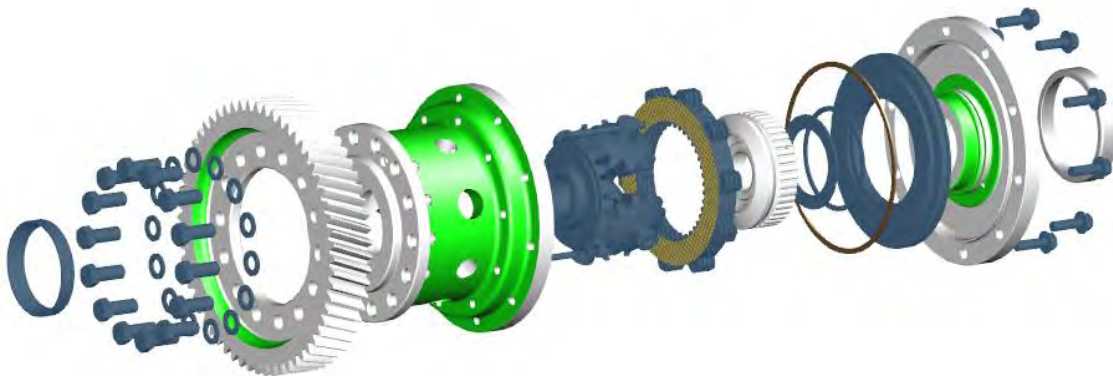


Figura 65: "Explosionado del conjunto diferencial"

El puesto cuenta con un banco de pruebas en el que se certifica el correcto funcionamiento del diferencial. En dicho banco se realizan siete pruebas, en las que se comprueban el bloqueo del diferencial, el deslizamiento o posibles fugas. El informe de pruebas puede verse en el Anexo I.

Premontaje del eje intermedio:

Compuesto por 7 piezas, el eje intermedio (ver figura 66) se encarga de transmitir la potencia de salida del eje de entrada a la corona del diferencial.

Antes de proceder al montaje, se introduce el eje longitudinal, el cual cuenta con un engranaje tallado en el mismo que conecta con el diferencial, en una cámara frigorífica a -60°C durante un mínimo de 4 horas. Por otro lado, el engranaje encargado de recibir la potencia del solar del eje de entrada se introduce en un horno a 120°C durante 4 horas.

Para comenzar el proceso de ensamblado se completa el kit de piezas y se toma del mismo la chaveta, la cual se coloca sobre el eje longitudinal recién salido de la cámara frigorífica. Con ayuda de una prensa se sitúa el piñón que engrana con el eje de entrada, el anillo elástico y los rodamientos de ambos lados del eje. Por último se atornilla el engrasador del sistema de lubricación.



Figura 66: "Explosionado del eje intermedio"

Premontaje de transportadores:

Los transportes forman parte del sistema de freno de servicio. Ambos transportadores, uno por cada eje, se encuentran anclados a la carcasa de la transmisión mediante seis tornillos. Los transportadores cumplen una doble función, por un lado sirven de alojamiento a los frenos y por otro se encargan de activarlos.

Aunque cumplen la misma función, ambos transportadores presentan diferencias entre ellos. Si se mira la transmisión desde la tapa frontal, el transportador situado en el lado del freno de estacionamiento se denomina "Transportador inferior", mientras que el situado del lado opuesto, lado del cuerpo de válvulas, se denomina "Transportador superior". A continuación se presentan los elementos que componen ambos transportadores:

-Transportador Inferior: está constituido por un cuerpo principal en cuyo interior se encuentra mecanizado un circuito de lubricación. El circuito deriva en tres terminaciones, en cuyo extremo se instalan unos engrasadores, dos de las cuales mantienen lubricados los ferodos del freno de servicio; la otra rama se encarga de lubricar el rodamiento sobre el que descansa el diferencial. El transportador contiene también un pistón encargado de presionar los ferodos del freno cuando se introduce aceite presurizado en el sistema. La estanqueidad del pistón se asegura mediante unas juntas tóricas situadas tanto en la parte exterior como interior del mismo (figura 67).

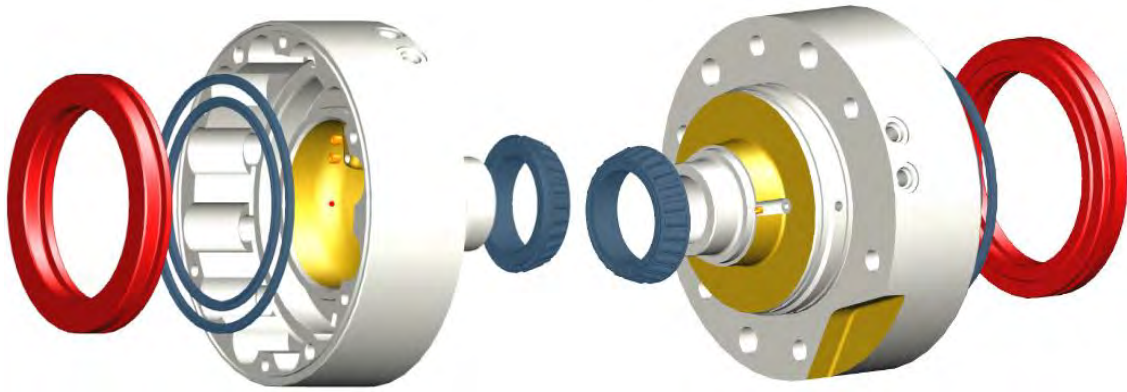


Figura 67: "Explosionado del transportador inferior"

-Transportador Superior: mantiene la misma configuración que el transportador Inferior. Está compuesto por una carcasa que contiene un pistón, un circuito de lubricación y un rodamiento en el que descansa el diferencial por la parte del embrague. La diferencia radica en que la carcasa contiene mecanizado un circuito interno extra para la activación del pistón del diferencial que activa su bloqueo. También cuenta con dos segmentos que aseguran la estanqueidad del circuito de bloqueo de diferencial (ver figura 68).

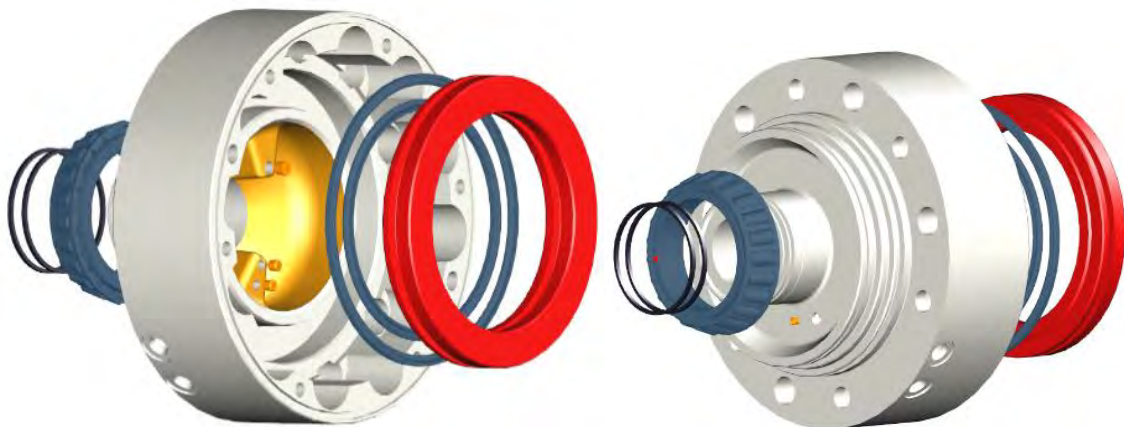


Figura 68: "Explosionado del transportador superior"

Premontaje del eje de entrada:

Con 254 piezas, el eje de entrada supone uno de los premontajes más complejo. Como se ha indicado anteriormente, este elemento recibe la potencia de un motor hidrostático anclado al freno de estacionamiento. Por otro lado, el eje de entrada engrana con el eje intermedio al cual transmite la potencia según la relación de transmisión seleccionada. Como se vio con anterioridad, el eje de entrada cuenta con un sistema de doble embrague que permite variar la relación de transmisión mediante un sistema de engranajes planetarios.

En relación al proceso de montaje, el primer paso es completar los dos kits de montaje. Estos kits suponen un sistema Poka-Yoke que asegura el montaje de todas las piezas. A continuación, y con ayuda de una prensa, se instala el cubo del eje de entrada (ver figura 69); este cubo, anclado al eje longitudinal con una chaveta, cuenta con un estriado externo en el que se unen los ferodos de fricción del embrague inferior (Hi/Lo- Clutch).



Figura 69: “Explosionado del eje longitudinal del eje de entrada”

Posteriormente, se pasa al montaje del embrague superior (Hi/Lo- Brake), ilustrado en la figura 70. Para ello, se coloca la cazoleta, o cubierta superior, en una prensa y se procede a instalar la pista para el rodamiento, el rodamiento de agujas, el pistón de accionamiento del embrague, con sus correspondientes juntas de estanqueidad, y las arandelas Belleville para el despeque de discos. Finalmente se añade el conjunto de ferodos y platos de embrague en su interior. Los platos de embrague ensamblan por su exterior con la cazoleta superior, mientras el interior de los mismos se coloca en una acanaladura perteneciente a la cazoleta del embrague inferior. Para cerrar el conjunto se instala una tapa que se atornilla a la cazoleta superior.

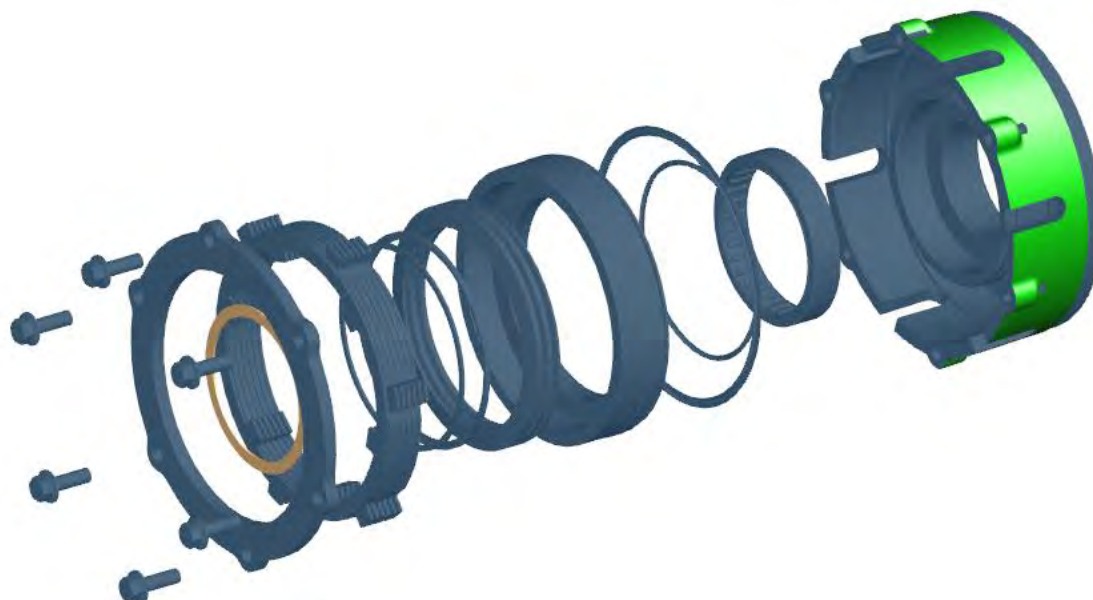


Figura 70: “Explosionado del embrague superior del eje de entrada”

El siguiente paso consiste en el ensamblado del embrague inferior (Hi/Lo- Clutch). Se instala la cazoleta inferior en el interior del embrague superior, haciendo coincidir el ranurado externo con los platos del embrague superior. A continuación se siguen los mismos pasos que para el embrague Hi/Lo- Brake; se instala el pistón de accionamiento con las juntas de estanqueidad, las arandelas Belleville de liberación y el conjunto de ferodos de fricción y platos de embrague. En este caso, los platos de embrague se unen por su cara exterior a la cazoleta del segundo embrague, mientras los ferodos se unen con el cubo del eje longitudinal. La figura 71 ilustra el proceso de montaje descrito.

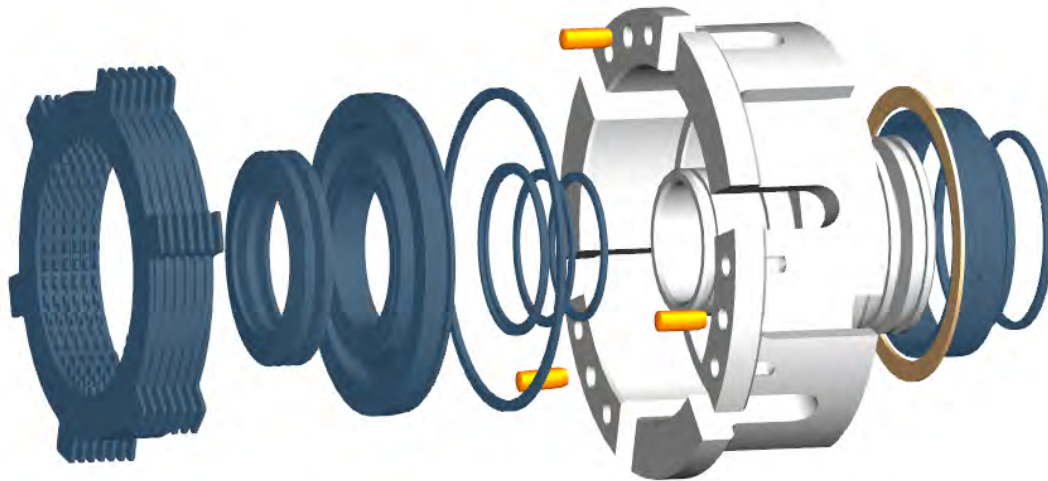


Figura 71: "Explosionado del embrague inferior del eje de entrada"

Una vez realizado el montaje de ambos embragues, con ayuda de una prensa se sitúa el eje longitudinal sobre el conjunto de los embragues (ver figura 72).

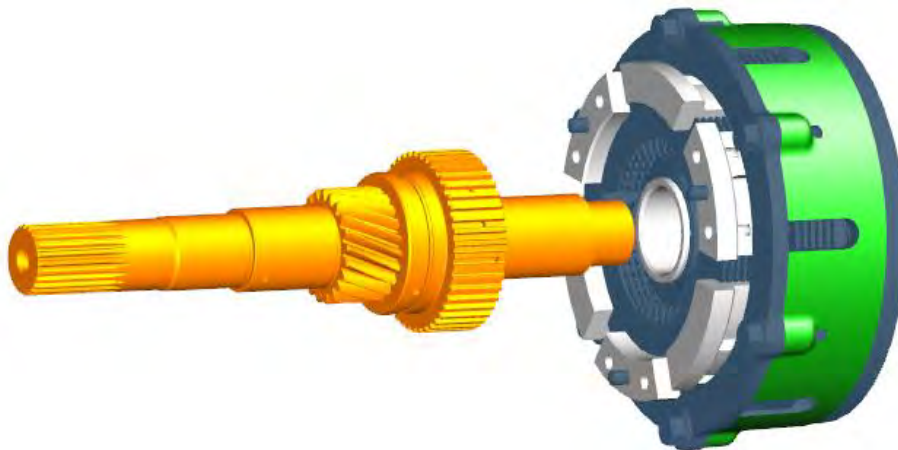


Figura 72: "Montaje del conjunto de embragues con eje longitudinal del eje de entrada"

Por otro lado, se realiza el ensamblado del conjunto de transportador y satélites, encargados de la desmultiplicación de la primera relación (figura 73). Este conjunto se monta sobre el conjunto de doble embrague, con el eje longitudinal engranado al sistema de planetarios, y se atornilla a la cazoleta inferior (ver figura 74).



Figura 73: "Explosionado del conjunto portasatélites del eje de entrada"

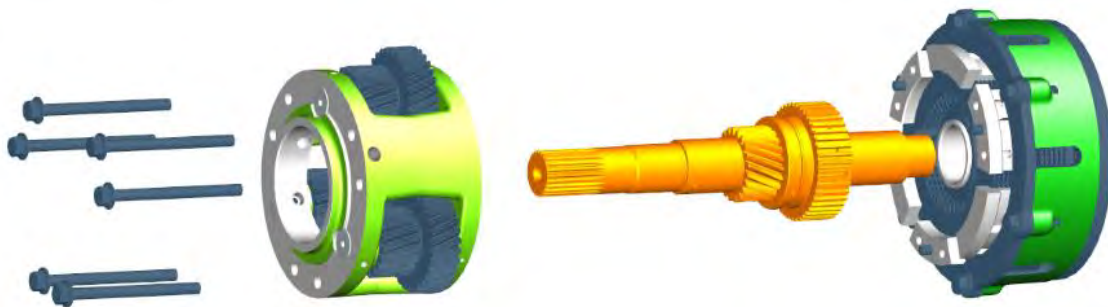


Figura 74: "Explosionado del montaje del portasatélites del eje de entrada"

El último paso consiste en el montaje del solar, el cual engrana con el dentado estrecho de los planetarios. El solar se encarga por un lado de transmitir la potencia al eje intermedio; por otro lado, cuenta con un dentado externo en el que se instalan los discos de fricción del freno de estacionamiento. También se añade un rodamiento sobre el que descansa el eje de entrada y los engrasadores de lubricación, como puede observarse en la figura 75.

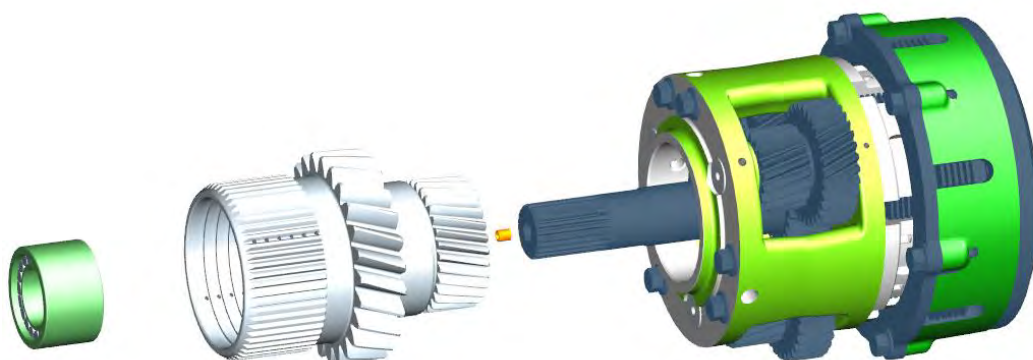


Figura 75: "Explosionado de montaje solar eje de entrada"

El puesto cuenta a su vez con un banco de pruebas en el que se certifica el correcto funcionamiento y ensamblado del eje de entrada. Los ensayos verifican la estanqueidad de los

pisotones de accionamiento de ambos embragues, los resortes de descarga o las revoluciones a distintas cargas, entre otras pruebas. El informe resultante puede verse en el Anexo II.

Premontaje de freno de servicio:

A diferencia de los transportadores, los frenos de servicio, tanto izquierdo como derecho (figura 76), son iguales. Cada freno está constituido por 23 piezas que se montan con ayuda de un Poka-Yoke que asegura que todas las piezas se monten en el orden correcto eliminando la posibilidad de que falte algún elemento. La prensa cuenta también con un peine que asegura que todos los discos de fricción, así como todos los platos de embrague, se encuentren en su posición. Ambos sistemas están conectados, de modo que el Poka-Yoke no permite el accionamiento de la prensa si las piezas no se montan en el orden correcto.

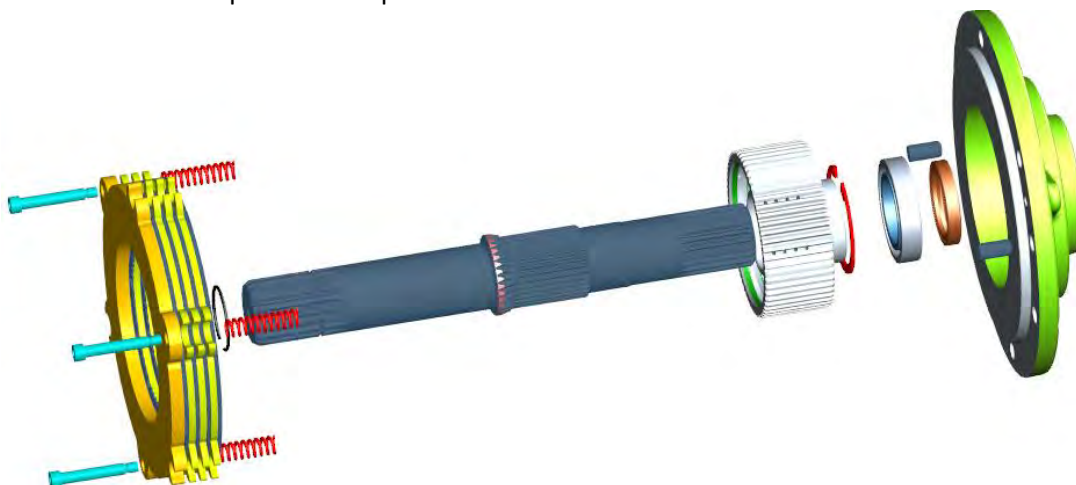


Figura 76: "Explosionado del freno de servicio"

Aunque todos los frenos montan cuatro discos de fricción, cada uno tiene una tolerancia de fricción que hace que la capacidad de frenado no sea igual en cada freno. Para ello se trabaja con una tolerancia de presión de frenado que asegura la detención de la maquinaria.

El puesto no cuenta con banco de pruebas. El sistema de frenado de servicio se comprueba en los ensayos que se realizan en los bancos de montaje final, en los que se comprueba tanto la estanqueidad del sistema como la capacidad de frenado.

Premontaje freno de estacionamiento:

Se trata de la última estación de ensamblado de la zona de premontajes. El freno de estacionamiento cuenta con 36 piezas, entre las que destacan las dos partes de la carcasa que contienen el sistema de embrague y los resortes. La carcasa cuenta con un mecanizado interno que permite la activación del embrague y un taladro roscado para el posterior montaje del sensor de presión. Este mecanizado constituye el circuito de desactivación del freno, es decir, por donde el cuerpo de válvulas introduce aceite presurizado para comprimir el sistema de arandelas Belleville y liberar la transmisión. El pistón cuenta con dos juntas tóricas que aseguran la estanqueidad del sistema. También se monta otra junta tórica externa que asegura la estanqueidad con respecto al resto de la transmisión. En la figura 77 se ilustra el explosionado del proceso de montaje del freno de estacionamiento.

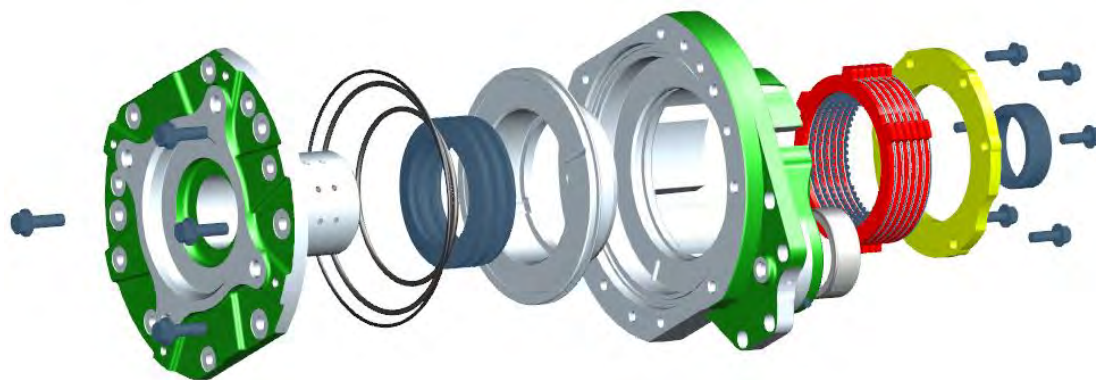


Figura 77: "Explosionado del montaje del freno de estacionamiento"

El montaje se realiza mediante una prensa y un Poka-Yoke, como en el caso del freno de servicio, que asegura un montaje correcto. También se monta una pista que servirá de apoyo al eje intermedio una vez el conjunto se monte en la transmisión.

Según la necesidad de carga de la línea, los premontajes una vez finalizados se almacenan en los IPK de cada estación o se aseguran en los carros que los transportarán a la zona de montaje final. La figura 78 muestra el carro de premontajes completo.



Figura 78: "Carro con kit para premontajes"

5.1.2.2. Montaje final

La zona de montaje final está dividida en siete estaciones o puestos de montaje. La línea se encuentra equilibrada con un tiempo medio por estación de 21 minutos y un operario por puesto.

Como se ha indicado anteriormente, por cada transmisión que se monta en la línea, se emplean dos carros de trabajo, uno contiene los premontajes y el otro de montaje. Cada estación cuenta con una plataforma o volteador que permite manipular el carro de montaje, pudiendo girar la transmisión en dos ejes. Este sistema permite trabajar con la caja en posición vertical, rotarla en posición horizontal y realizar giros a derechas o izquierdas indistintamente cuando la transmisión esta horizontalmente, todo ello controlado por una botonera accionada por el operario (ver figura 79).

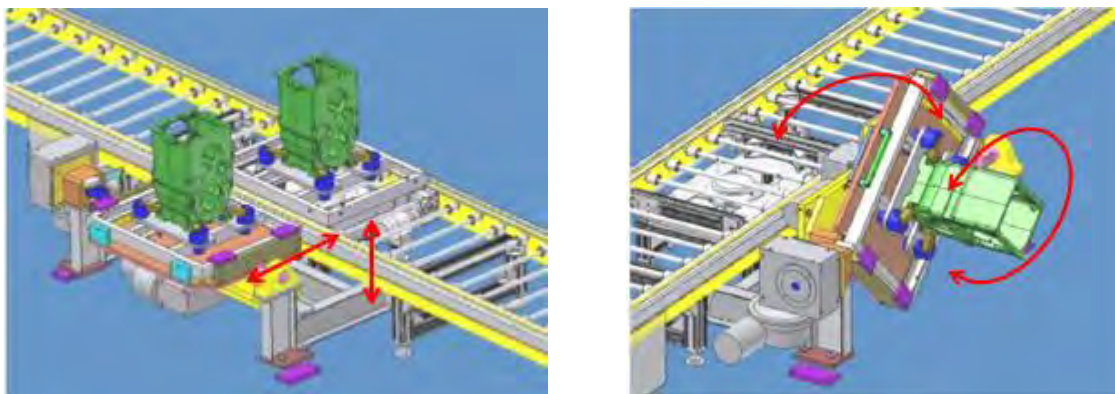


Figura 79: "Movimientos del carro de volteo de la línea de montaje"

A continuación, se describe el proceso de montaje en cada uno de los puestos de montaje que conforman la línea:

Puesto de montaje 1

El proceso de montaje comienza con el posicionamiento de la carcasa de la transmisión en el carro de montaje. Una vez posicionada, se fija al carro mediante unas bridas de sujeción atornilladas. El último paso antes de comenzar el montaje consiste en leer la chapa identificativa que acompaña a la transmisión y cuyo número de serie queda registrado en el sistema de trazabilidad, al que se le irán añadiendo los datos de los premontajes, pares de apriete y resultados de los ensayos.

Una vez el carro es posicionado en el puesto, se introduce el diferencial y se monta el transportador superior con sus correspondientes tóricas de estanqueidad. A continuación se introduce el eje intermedio, con ayuda de un elemento de apoyo, y se coloca la junta de estanqueidad del freno de estacionamiento. En último lugar, se monta el tapón de vaciado y posiciona el freno de estacionamiento, en cuya carcasa se aloja el eje intermedio (figura 80).

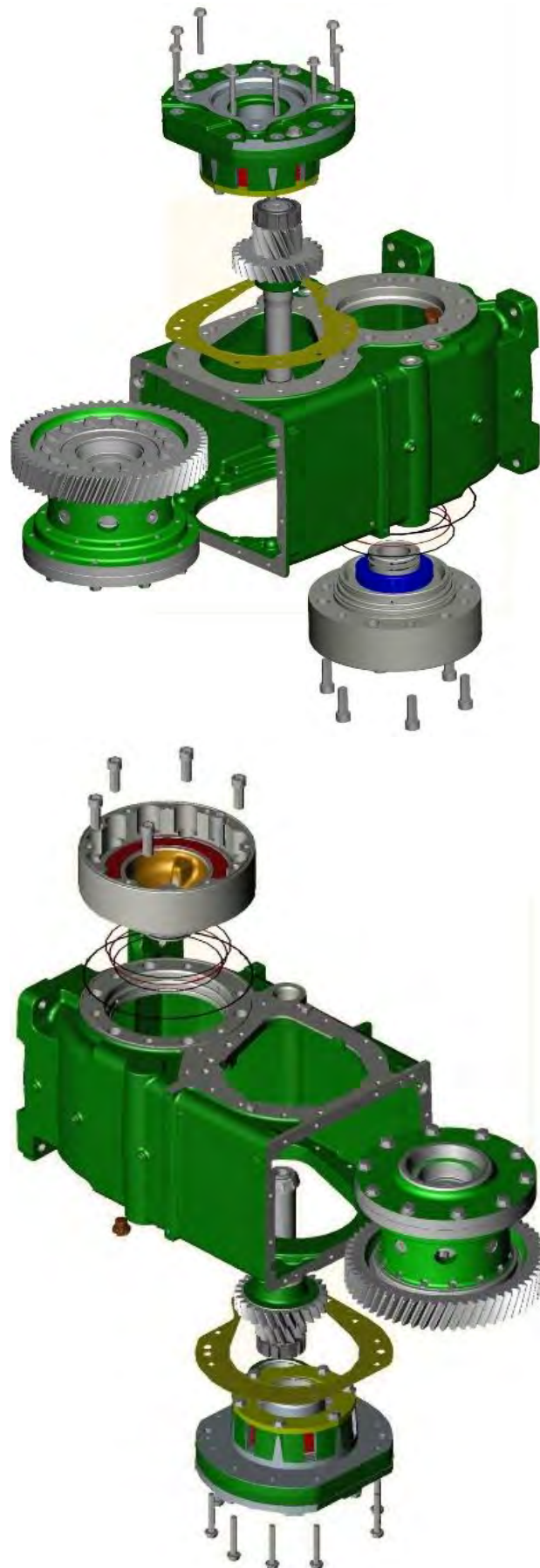


Figura 80: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 1”

Una vez terminado el proceso, se retira el carro y se devuelve al camino de rodillos que pasará al siguiente puesto. Posteriormente se introduce un nuevo carro y se repite el proceso anteriormente descrito.

Puesto de montaje 2

En primer lugar se fija por completo el freno de estacionamiento a la carcasa y se asegura su asentamiento. Posteriormente, y con la ayuda de un calibre, se realiza el reglaje del transportador inferior con respecto al diferencial. El calibre señala un valor en milímetros, que se deben cubrir mediante suplementos, con el fin de que ambos elementos, transportador y diferencial, se encuentren a la distancia óptima de trabajo, asegurando un precarga que cumpla con las necesidades de trabajo del rodamiento.

Una vez realizado el reglaje, se añade un paquete de suplementos entre transportador y carcasa; dicho paquete queda registrado en trazabilidad, así como el valor del calibre. Con posterioridad se montan las juntas tóricas al transportador y se fija el conjunto a la carcasa.

Por último se montan dos tapones de vaciado a cada lado de la carcasa y un racor en cada transportador (figura 81-a y 81-b). Estos racores se conectarán con otros elementos en puestos posteriores y con las tuberías de aceite para la activación del freno de servicio.

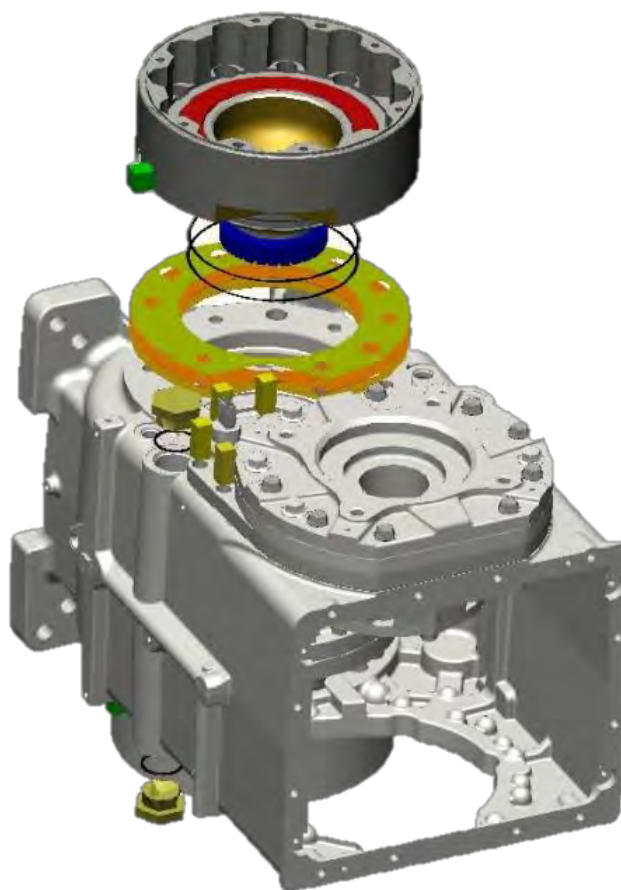


Figura 81-a: "Explosionado del proceso de montaje de la estación 2"

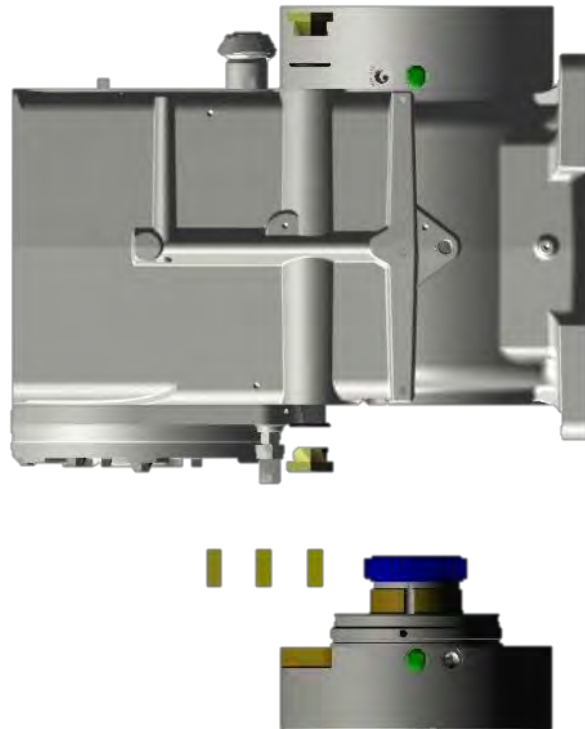


Figura 81-b: "Explosionado del proceso de montaje de la estación 2"

Puesto de montaje 3

Primero se introduce el eje de entrada en la posición adecuada y asegurándose de que asiente correctamente entre los ferodos del freno de estacionamiento. Posteriormente se debe realizar el reglaje del eje de entrada con respecto a la tapa del cuerpo de válvulas. Para ello se sitúa dicha tapa en un calibre y se posiciona otro calibre que mide la distancia entre la carcasa y la parte superior del eje de entrada. El sistema proporciona el valor de los suplementos que se deben colocar para asegurar juego entre ambos elementos; el ajuste con juego se realiza para asegurar el correcto funcionamiento del eje de entrada.

Tras realizar el reglaje, se debe colocar el juego de suplementos sobre la carcasa del eje de entrada. Todos los datos de los reglajes y juego de suplementos se registran en trazabilidad y se asignan al número de serie de la chapa identificativa que acompaña a la transmisión. También se montan dos casquillos que se emplean en el circuito de activación de los dos embragues del eje. Con posterioridad se coloca una junta metálica entre la tapa y la carcasa para asegurar la estanqueidad del sistema, y se atornilla la tapa.

Para finalizar el montaje, se colocan ambos frenos sobre cada transportador con sus correspondientes juntas tóricas de estanqueidad y se atornillan a los transportadores. A su vez se montan los tapones de ambos transportadores, que cierran el circuito del frenado de servicio (ver figura 82).

Una vez finalizado el montaje se evacua el carro de vuelta a la línea para pasarlo al siguiente puesto.

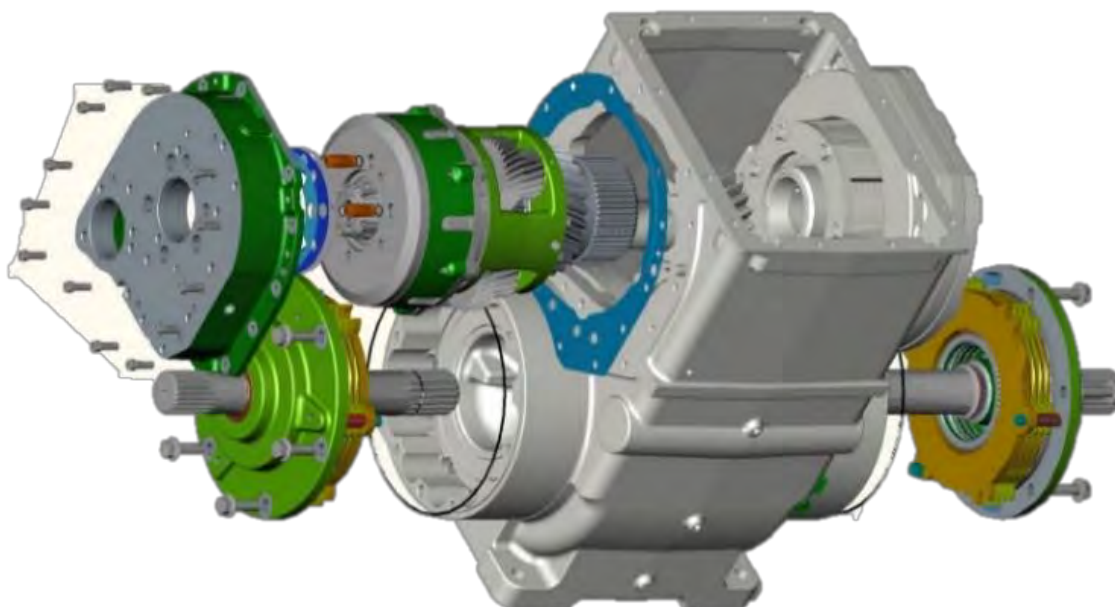


Figura 82: "Explosionado del proceso de montaje de la estación 3"

Puesto de montaje 4

El montaje comienza con la fijación de la cazoleta o carcasa del eje de entrada a la tapa del cuerpo de válvulas mediante cinco tornillos a los que se le aplican adhesivo de fijación. Posteriormente se debe realizar el reglaje tanto del eje de entrada como del eje intermedio. El fin de este reglaje consiste en asegurar que las pistas donde descansan los rodamientos de ambos ejes se encuentran a la distancia óptima de trabajo. Para ello, como en los casos anteriormente descritos, se coloca un calibre que indica la medida de los suplementos a colocar. Con el reglaje realizado, se posicionan los paquetes de suplementos en ambos ejes y se montan las pistas.

Después de posicionar las pistas se debe montar una tapa sobre cada una. Estas tapas cumplen la función de conectar con el cuerpo de válvulas y forman parte del circuito de lubricación de los ejes. La posición de las tapas se asegura mediante el montaje de unos anillos elásticos situados en un ranurado interno de la tapa del cuerpo de válvulas.

También se monta en el puesto un segundo tapón de llenado, un tapón en la tapa del cuerpo de válvulas y el sensor de presión del freno de estacionamiento. A continuación, y con ayuda de una mesa de fijación, se monta un filtro de aceite sobre la tapa frontal. Posteriormente se monta el deflector de aceite fijado en la carcasa y, por último, se sitúa el conjunto de la tapa con el filtro sobre la carcasa y se fija con doce tornillos. La estanqueidad de la tapa frontal se asegura mediante la aplicación de un cordón de silicona que forma una junta adhesiva entre tapa y carcasa.

La figura 83 ilustra el proceso de montaje que se realiza en el puesto de montaje 4 de la cadena de ensamblado.

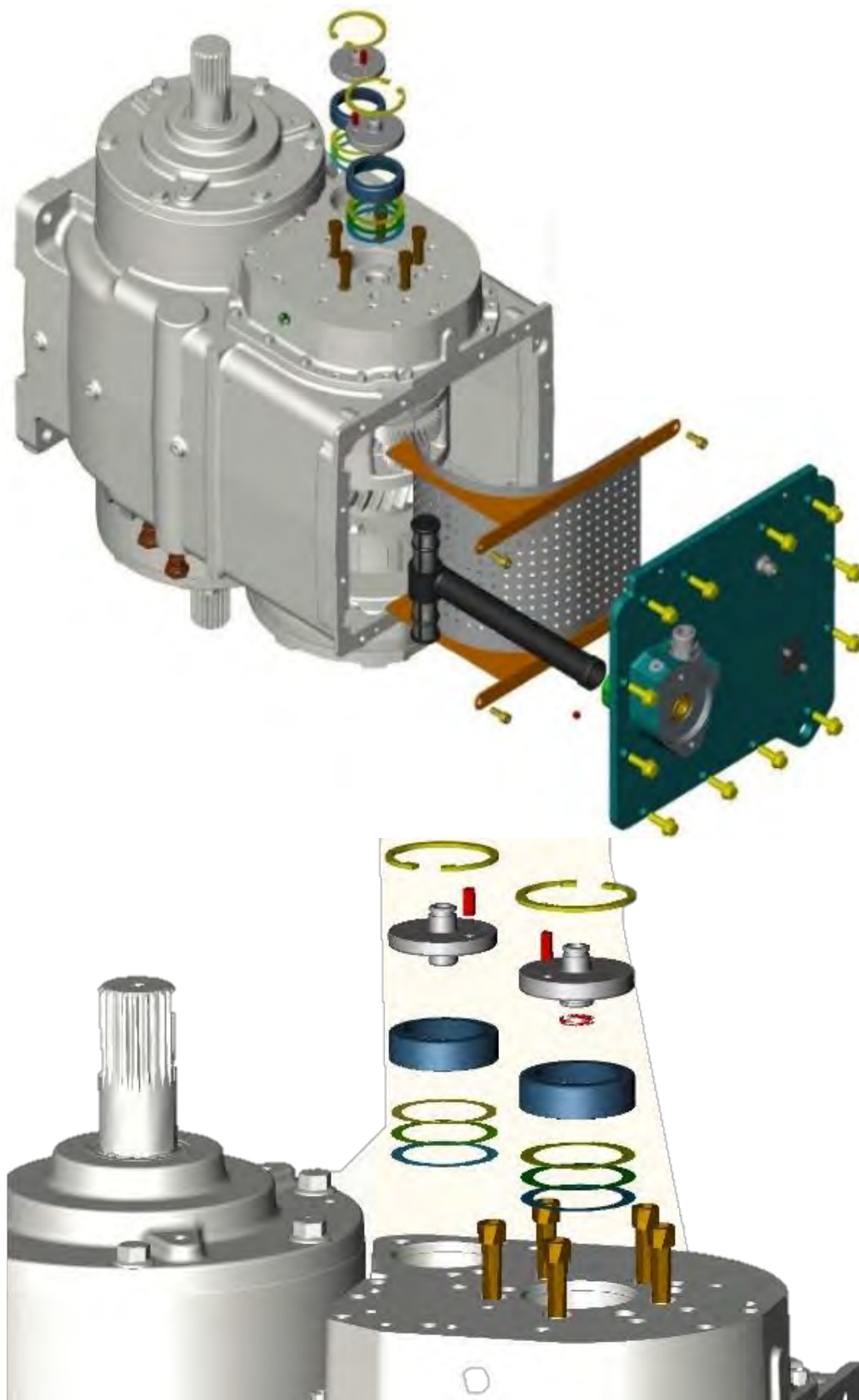


Figura 83: "Explosionado del proceso de montaje de la estación 4"

Una vez terminado el montaje se fija la chapa identificativa de la transmisión sobre la tapa frontal mediante unos remaches.

Puesto de montaje 5

Esta fase del montaje corresponde al ensayo de pruebas hidráulicas, en la que se comprueba que no existan fugas de aire, la estanqueidad de diferentes circuitos y el funcionamiento correcto de los sistemas de actuación o sistemas hidráulicos.

A parte de los ensayos, se realiza el montaje del sensor de vueltas que se asegura en la carcasa sobre el diferencial. Este sensor detecta los dientes del diferencial y proporciona datos de las revoluciones a las que gira. También se monta un racor sobre la carcasa sobre uno de los circuitos hidráulicos de mecanizado interno (ver figura 84).

Todas las pruebas que se realizan sobre la transmisión vienen detalladas en el apartado de diagnóstico funcional de la transmisión. Estas pruebas son a su vez registradas en el sistema de trazabilidad y registradas con el número de serie de la transmisión.

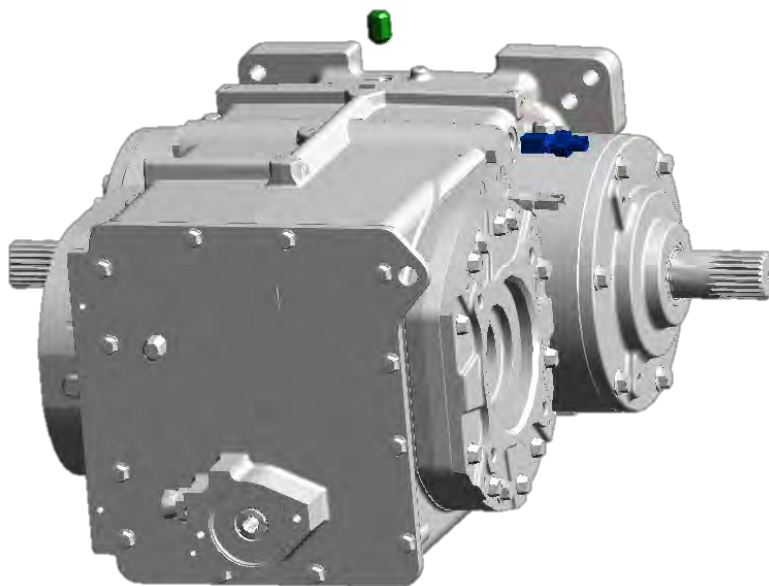


Figura 84: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 5”

Puesto de montaje 6

Se trata del último puesto antes de pasar al banco de ensayo de rodadura. En este puesto se monta una junta entre la tapa y el cuerpo de válvulas que asegura que los circuitos de este elemento permanezcan estancos. Encima de la junta se fija el cuerpo de válvulas al que se le añade el acumulador. Sobre los racores de los transportadores se añaden unos interruptores de actuación (ver figura 85).

En caso de que la transmisión no haya superado alguna de las pruebas del puesto anterior, o exista un defecto de montaje, la transmisión se retira a un IPK que la dirige al puesto de reproceso para ser reparada sin realizar el montaje del puesto 6.

Si la transmisión ha superado todos los requisitos de calidad, y se ha finalizado el montaje del puesto 6, se retira a un IPK para su posterior ensayo en el banco de pruebas de rodadura.

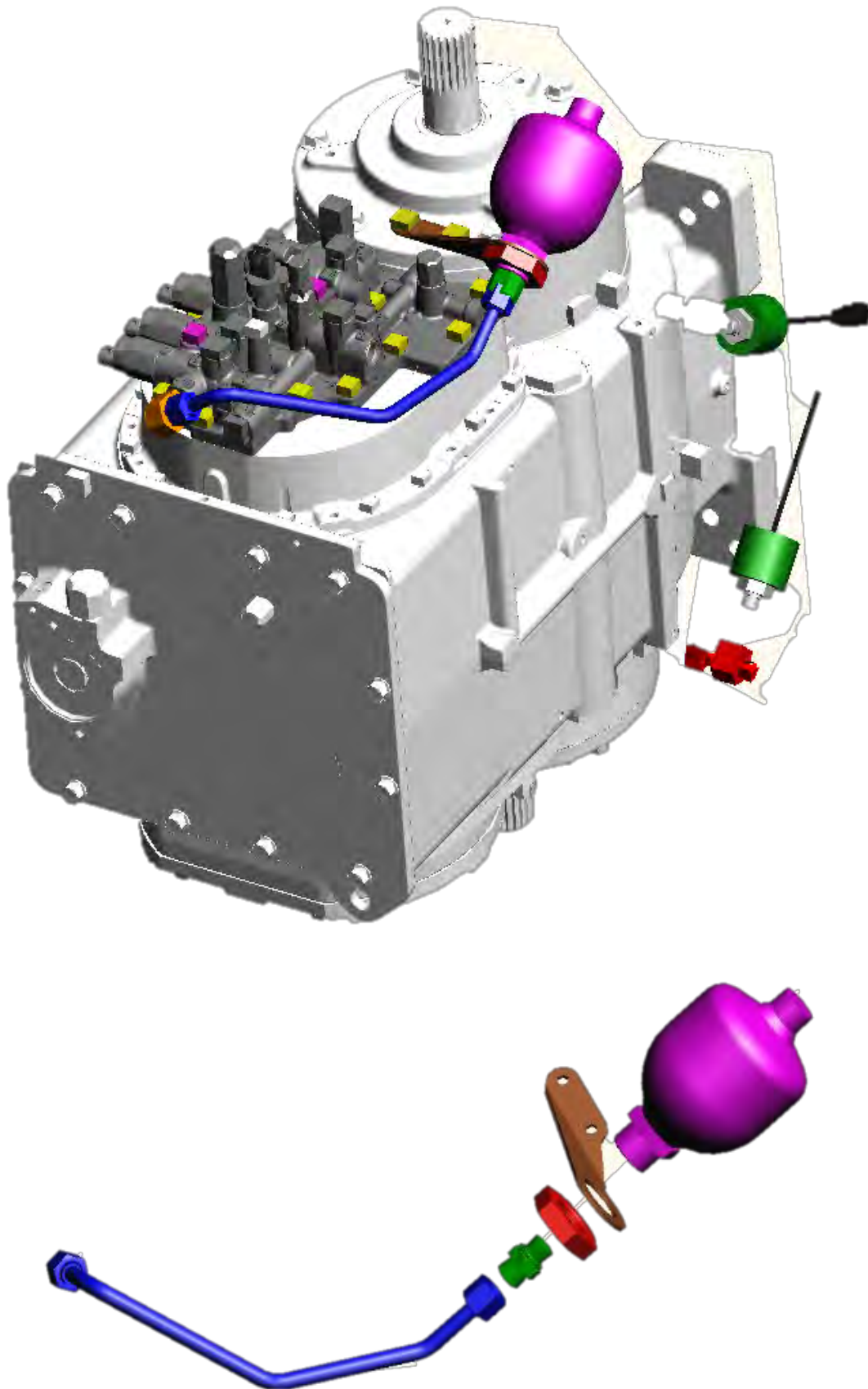


Figura 85: “Explosionado del proceso de montaje de la estación 6”

Puesto de montaje 7

Se trata de la última fase de montaje en la que se realiza la prueba de rodaje. Para la realización de las diferentes pruebas es necesario conectar la transmisión a un conjunto de mangueras y cables del banco que representan el sistema de conexión y actuación de la cosechadora. Todos los datos son registrados en un informe con el número de serie de la transmisión.

Si la transmisión supera todos los parámetros, se montan las tuberías del sistema de freno de servicio y las protecciones de la transmisión. Por último se manda a la línea de pintura y embalaje.

En caso contrario, si la transmisión no cumple con los estándares de calidad, se manda al IPK de reproceso para ser reparada y devuelta al rodaje para asegurar que se ha reprocesado correctamente.

Todas las pruebas que se realizan sobre la transmisión vienen detalladas en el siguiente apartado de diagnóstico funcional de la transmisión.

5.1.3. Diagnóstico funcional de la transmisión

Los criterios de calidad de John Deere exigen que el 100% de las transmisiones sean ensayadas y cumplan con los requisitos de funcionamiento estipulado. Por ello la cadena de montaje ProDrive cuenta con dos bancos de ensayo. Como se expondrá a continuación, en caso de que una transmisión no supere alguna de las pruebas se envía al puesto de reproceso. En este puesto, fuera de la cadena de montaje, se realiza un diagnóstico en función de los datos de los ensayos y se procede a su posterior reparación. Una vez la caja ha sido reparada se le vuelven a realizar los ensayos tanto del banco hidráulico como de rodadura.

A continuación se exponen las pruebas que se realizan en ambos puestos.

5.1.3.1. Ensayos hidráulicos

El banco de ensayo hidráulico se encuentra integrado dentro de la cadena de producción, situado en el puesto de montaje 5. El 100% de las transmisiones montadas en la línea son ensayadas con el fin de garantizar la fiabilidad y calidad del producto final. A su vez, cumple con los parámetros de ergonomía exigidos por la compañía y asegura una cadencia adecuada al tiempo de montaje en la línea.

La secuencia de pruebas, que se describen posteriormente, se ejecuta de forma automática según la secuencia programada en función del modelo de transmisión a ensayar (figura 86). Todos los resultados quedan registrados en el ordenador, asociado al número de serie de la transmisión y adjuntados a la trazabilidad de la misma. En caso de que se detecte alguna anomalía el sistema detiene la prueba y presenta un aviso en pantalla.

Como se expuso en el apartado de montaje, en caso de que la transmisión no supere alguno de los ensayos de banco se avanza al puesto siguiente en la que, sin terminar el montaje, será retirada al IPK de reproceso. Una vez localizado y corregido el fallo que dio lugar al incorrecto

funcionamiento, se procede a finalizar su montaje para realizar el posterior ensayo de rodadura en el puesto 7.

En cuanto a las pruebas, en primer lugar se realiza una prueba de fugas de aire con un microfugómetro que comprueba la estanqueidad del sistema. En caso de que la caja no supere esta primera prueba no se realiza el ensayo hidráulico a alta presión, y se realizan los pasos anteriormente descritos para su reproceso. Si la prueba es óptima y la transmisión cumple los requisitos de estanqueidad, se pasa a realizar los diferentes ensayos hidráulicos en el banco.

El ensayo de pruebas hidráulicas se realiza con ayuda de un cuerpo de válvulas esclavo que realiza la función del cuerpo de válvulas de la transmisión. Así mismo se colocan racores de conexión rápida a los que se conectan las mangueras del banco para la realización del ensayo. La finalidad de las pruebas es comprobar la estanqueidad de los circuitos de aceite y lubricación así como el correcto funcionamiento de la transmisión.

Cada ensayo genera un informe que reporta los resultados de las diferentes pruebas mostrando si se han cumplido los requisitos o si, por el contrario, la transmisión no ha superado alguna de las pruebas (Anexo III).

Descripción de los ensayos:

A continuación se muestran las diferentes pruebas que se realizan sobre la transmisión.

1.- Purgado Freno de Servicio: se trata de una prueba de transición que consiste en un primer paso para eliminar el aire del circuito de frenado. Se activan las electroválvulas “VS-10” y “VS-11” correspondientes a los frenos de servicio superior e inferior. Se alcanza una presión de 40 bares durante 1 segundo para realizar el purgado del sistema.

2.- Estanqueidad Freno de Servicio Superior: se prueba la estanqueidad del pistón contenido en el transportador superior (situado en el lado del cuerpo de válvulas). Para realizar el ensayo se activa la electroválvula “VS-10” y se introduce una presión de 40 bares. Una vez alcanzada dicha presión, se desactiva la bomba y se mide la caída de presión durante un periodo de 30 segundos. Las consignas de paso son dos:

- Alcanzar 40 bares de presión en el circuito
- La caída de presión es menor a 4 bares en el tiempo estipulado de 30 segundos

3.- Estanqueidad Freno de Servicio Inferior: se realiza la misma prueba de estanqueidad para el pistón del transportador inferior (situado en el lado del freno de estacionamiento). En este caso se activa la electroválvula “VS-11”. Los tiempos de prueba, presiones del circuito y consignas de paso son iguales que la prueba de estanqueidad para el freno de servicio superior.

4.- Lubricación Eje Intermedio: se comprueba el correcto funcionamiento del circuito de lubricación del eje intermedio, asegurando que el caudal de circulación es correcto y no hay desgastes ni obturaciones en el sistema. Se activa la electroválvula “VS-1” y se introduce aceite al sistema durante 10 segundos para conseguir un caudal estable de 2 l/min y se mide la presión necesaria para alcanzar dicho caudal. Las consignas de paso son:

- Alcanzar un caudal estable de 2 l/min
- La presión para alcanzar el caudal se encuentra entre $3,50 \pm 2,50$ bares

5.- Lubricación Eje de Entrada: al igual que en el eje intermedio, se comprueba el funcionamiento del circuito de lubricación. Con este ensayo se asegura que el caudal de aceite es adecuado y no hay obturaciones ni desgastes en el circuito. En el caso del eje de entrada se activa la válvula “VS-2” y se bombea aceite en el circuito durante 10 segundos para alcanzar un caudal de 14 l/min. Se controla el caudal del sistema y la presión necesaria para dicho flujo de trabajo. Las consignas de paso son:

- Alcanzar un caudal estable de 14 l/min
- La presión para alcanzar el caudal se encuentra entre $3,50 \pm 2,50$ bares

6.- Estanqueidad Lo (Hi/Lo Brake): se comprueba la estanqueidad del embrague superior del eje de entrada, verificando que las juntas de estanqueidad y los elementos implicados en el circuito de activación no presentan fugas. Se activa la electroválvula “VS-3” y se introduce aceite presurizado hasta alcanzar los 22 bares de presión en el circuito. Una vez alcanzada la presión de consigna se desactiva la bomba y se mide la caída de presión en un periodo de 10 segundos. Las consignas de la prueba son:

- Alcanzar 22 bares de presión en el circuito
- La caída de presión es menor a 4 bares en el tiempo estipulado de 10 segundos

Esta prueba es común al banco de ensayos del puesto de premontaje del eje de entrada.

7.- Fugas Embrague (Clutch): se comprueba la estanqueidad del segundo embrague del eje de entrada, siendo la prueba similar a la estanqueidad del embrague superior. Para ello se activa la electroválvula “VS-4” y se introduce una presión de 20 bares. Una vez alcanzada esta condición se cierra el circuito y se mide la variación de caudal en 10 segundos. Las consignas de paso son:

- Alcanzar 20 bares de presión en el circuito
- El caudal necesario para alcanzar la presión de trabajo es inferior a 1,32 l/min en el tiempo estipulado de 10 segundos

Esta prueba es común al banco de ensayos del puesto de premontaje del eje de entrada.

8.- Fugas Diferencial: en esta prueba se activa el bloqueo del diferencial para comprobar su funcionalidad. La prueba se realiza también en el banco de pruebas del premontaje del diferencial pero en este caso se comprueba todo el circuito de activación, desde el cuerpo de válvulas, pasando por el transportador hasta el pistón del diferencial. Para ello se activa la electroválvula “VS-5” y se comprueba que se alcanza, y mantiene, la presión de activación del embrague de bloqueo con el caudal de fuga permitido durante un periodo de tiempo de 10 segundos. Las condiciones de paso son:

- Variación de presión dentro de los límites de 20 ± 2 bares
- El caudal necesario para alcanzar la presión de trabajo es inferior a 1,5 l/min
- Alcanzar presión y caudal de trabajo

9.- Lubricación Frenos de Servicio: se comprueba que los circuitos de lubricación de cada freno para los rodamientos y ferodos cumplen los requisitos funcionales y de calidad. Para realizar el ensayo se activa la válvula “VS-7” y se introduce aceite a 3 bares de presión midiendo el flujo de aceite para asegurar dicha presión. La duración de la prueba es de 15 segundos y las consignas de paso son las siguientes:

- Alcanzar 3 bares de presión en el circuito
- El caudal necesario para asegurar la presión de trabajo se encuentra entre los límites $5,60 \pm 1,50$ l/min.

10.- Estanqueidad Freno de Aparcamiento: se trata de la última prueba que se realiza en el banco de pruebas hidráulico. En este paso se comprueba el correcto accionamiento hidráulico del freno de estacionamiento comprobando la estanqueidad del circuito de activación y del pistón del embrague; sin embargo no se ensaya la capacidad de frenado, esta comprobación se realiza en el banco de rodadura. La prueba se realiza activando la electroválvula “VS-8”, dando paso a una corriente de aceite a 27 bares. Cuando se alcanza la presión indicada se cierra el circuito y se mide la caída de presión tras 30 segundos. Las consignas de paso para esta última prueba son:

- Alcanzar 27 bares de presión en el circuito
- La caída de presión es menor a 4 bares en el tiempo estipulado de 30 segundos



Figura 86: “Pantalla de ensayos hidráulico”

5.1.3.2. Ensayos de rodadura

El banco de pruebas se encuentra situado en el puesto de montaje 7 suponiendo así la última etapa de la transmisión antes de pasar a la línea de pintura. La caja de cambios llega al puesto con todos los elementos que la componen, a excepción de las protecciones de chapa y las tuberías para la activación de los frenos de servicio que se montan una vez superado el ensayo de rodaje.

Las diferentes pruebas que se realizan en el banco de rodadura (ver figura 87) simulan el funcionamiento de la transmisión en la cosechadora donde será instalada. Al igual que con las pruebas hidráulicas, el 100% de las transmisiones son ensayadas para cumplir los parámetros de calidad. Dado que la caja de cambios llega completamente montada, a excepción de los elementos anteriormente descritos, en este banco se garantiza el correcto montaje así como el funcionamiento de los diferentes elementos y mecanismos de la transmisión.

Los resultados de todas las pruebas quedan registrados en el ordenador y asociados al número de identificación de la caja; todos los datos se registran a su vez en la trazabilidad de la transmisión (ver Anexo IV).

En caso de que una transmisión no supere alguna de las pruebas, se retira al IPK de reproceso para ser analizada y reparada; una vez hecho esto, se devuelve al banco de rodadura para ser ensayada de nuevo.

La transmisión bajo estudio cuenta con un circuito de evacuación del aceite del cárter mediante una bomba; dicha bomba se encuentra situada en la tapa posterior y conectada al filtro de aceite. La lubricación se realiza a través de un flujo constante de aceite mediante conducciones internas, todo ello pilotado por el cuerpo de válvulas. Cuando el aceite fluye por los circuitos de lubricación se libera al interior de la transmisión y la bomba se encarga de extraerlo y filtrarlo, para posteriormente pasar al sistema de refrigeración. Además la bomba cuenta con un sensor que permite monitorizar el valor de temperatura del aceite evacuado.

Previamente al llenado de la caja, se efectúa una recirculación de aceite con el fin de arrastrar posibles partículas y asegurar así un correcto limpiado de los conductos. El llenado de aceite previo a la prueba se realiza por el cárter de la propia transmisión mediante conexión rápida. Una vez finalizadas las pruebas, se retira el aceite para preparar el producto para su posterior ensamblaje.

Antes de comenzar las diferentes pruebas que se realizan sobre la transmisión, el banco introduce aceite presurizado en la transmisión a 30 bares de presión, manteniéndola durante la realización de los diferentes ensayos.

Descripción de los ensayos:

El banco cuenta con diferentes ensayos en función del modelo de ProDrive a probar. A continuación, se presentan las veintiuna pruebas que se realizan a la transmisión bajo estudio DE30056.

1.- Calentamiento, flujo aceite y presión de lubricación:

Se trata de una prueba de control de banco con una duración de 5 segundos en la que se mide la temperatura, la presión y el flujo de aceite que se introduce a la transmisión, para asegurar que las condiciones de ensayo del fluido son las correctas.

Para que las condiciones de trabajo sean las adecuadas, la presión medida en el circuito principal debe ser superior a 25 bares, mientras que la presión de lubricación debe de estar en un rango comprendido entre 25 y 30 bares. Por último, la temperatura del aceite debe de encontrarse por encima de 25°C

2.- Temperatura del aceite y caudal de la bomba de la tapa:

Durante 5 segundos se monitoriza la temperatura y el caudal de la bomba situada en la tapa posterior. Dicha bomba, como se ha indicado anteriormente, se encarga de extraer el aceite de lubricación que se ha liberado al cárter. Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, la temperatura debe ser superior a 30°C y el caudal de extracción debe superar los 20 l/min.

3.- Presión en parking brake, Lo y diferencial:

En esta prueba se ensayan las electroválvulas del freno de estacionamiento, del embrague superior del eje de entrada “Hi/Lo-Brake” y del diferencial, midiendo los valores de intensificación obtenidos. Por otro lado, se comprueba que se ha alcanzado la presión necesaria para liberar el freno de estacionamiento. Esta presión debe de encontrarse entre $27 \pm 2,5$ bares. La duración de la prueba es de 2 segundos, y una vez finalizada el freno de estacionamiento permanece liberado durante el resto de los ensayos.

4.- Activo diferencial-Balance de ejes:

Se activa el embrague “Hi/Lo-Brake” y el bloqueo del diferencial. Una vez activados ambos sistemas se acelera el eje de entrada hasta alcanzar una velocidad de 900 rpm y comprueba el balance de ejes durante 4 segundos. Se trata de una prueba transitoria de banco que asegura que ambos ejes de salida giren a la misma velocidad.

Las condiciones se mantienen hasta la siguiente prueba.

5.- Ajuste de frenos:

Partiendo de las condiciones de la prueba anterior y sin variar ningún parámetro, se activan los frenos de servicio durante 20 segundos. Es una prueba transitoria del banco que asegura un comportamiento homogéneo de los frenos de servicio.

6.- Comprobación tacómetro de velocidad:

Se mantiene activo el embrague “Hi/Lo-Brake” y el bloqueo del diferencial. Se acelera el eje de entrada hasta alcanzar 1800 rpm y se miden los datos obtenidos por el sensor de velocidad durante 4 segundos. El tacómetro mide el paso de los dientes de la corona del diferencial que deben encontrarse entre 1580 ± 20 rpm. Con esta prueba se asegura el correcto funcionamiento del tacómetro de velocidad.

Las condiciones se mantienen hasta la siguiente prueba.

7.- Frenado asimétrico con diferencial bloqueado:

Partiendo de las mismas condiciones que la prueba anterior, se frena el motor izquierdo del banco, con una fuerza de 98,06 Nm, lo que se traduce en un par resistente en el eje de salida izquierdo; con ello se consigue simular una situación en la que los ejes presentan diferente resistencia al giro (diferentes condiciones de adherencia). Se miden las revoluciones en ambos ejes de salida para asegurar que los ratios de salida son iguales (1580 ± 20 rpm). La duración de la prueba es de 8 segundos y la finalidad de la misma es asegurar el correcto bloqueo del diferencial en marcha corta.

Por otro lado se monitorizan otros valores como el punto de lubricación y de sobrepresión.

8.- Frenado asimétrico sin diferencial bloqueado:

La velocidad del eje de entrada se reduce a 1350 rpm, se mantiene activa la marcha corta (“Hi/Lo-Brake”) y se desactiva el bloqueo del diferencial. Una vez alcanzadas estas condiciones, se activa el freno de servicio del lado del freno de estacionamiento (freno izquierdo según el banco y derecho o superior según montaje) y se mide la velocidad de salida de ambos ejes; el eje que no ha sido frenado debe girar al doble de velocidad. Con esta prueba se asegura el correcto funcionamiento del diferencial, el sistema de desbloqueo y su correspondiente electroválvula. Por otro lado se asegura energización de la electroválvula asimétrica del freno de servicio. La duración del test es de 8 segundos.

9.- Frenado con Service Brake:

Se mantiene el diferencial desbloqueado, y manteniendo la marcha corta se acelera el eje de entrada hasta las 1800 rpm. Cuando se alcanza la velocidad deseada se comprueba en primer lugar que con el diferencial desbloqueado la velocidad a la salida de los ejes es igual y, posteriormente, se activan los frenos de servicio de ambos ejes; en este punto se mide la

presión de ambos frenos de servicio (5 ± 2 bar). Por seguridad, la presión aplicada es menor a la que se alcanzará una vez se monte la transmisión en la cosechadora. El ensayo tiene una duración de 8 segundos y permite comprobar que los frenos actúan correctamente y están equilibrados. Por otro lado se asegura la igualdad de ratios entre los ejes de salida

10.- Frenado simétrico en marcha corta:

En este ensayo se activa el bloqueo del diferencial de nuevo, se mantiene la marcha corta activa y se disminuye la velocidad del eje de entrada a 1260 rpm, para posteriormente activar simultáneamente los frenos de servicio de ambos ejes. Se mide la diferencia de velocidad entre ambos ejes, que debe de encontrarse entre 0 ± 50 rpm. La duración es de 8 segundos y con el test se comprueba el correcto funcionamiento del freno de servicio.

11.- Paso por cero:

Se trata de una prueba transitoria del banco con una duración de 4 segundos. En este paso se desactiva el embrague “Hi/Lo-Brake”, el bloqueo del diferencial y se espera a que la transmisión se detenga por completo. Con este paso se prepara el banco para la siguiente prueba.

12.- Despegue de discos:

Partiendo de las condiciones del test anterior, se acelera el eje de entrada hasta una velocidad de giro de 1700 rpm con el fin de liberar los discos de fricción del embrague superior del eje de entrada (“Hi/Lo-Brake”). Es un paso transitorio con una duración de 1 segundo.

13.- Rodadura en punto muerto tras marcha corta:

Con una velocidad de 1700 rpm en el eje de entrada, se activa el bloqueo del diferencial y se mantiene el sistema sin ninguna marcha seleccionada. El test dura 6 segundos y su finalidad es comprobar que las arandelas Belleville del primer embrague funcionan correctamente y no hay transmisión de potencia a los ejes de salida, es decir, la velocidad de salida es cero.

14.- Detención para cambio de marcha:

Es un paso transitorio del banco con una duración de 2 segundos. Se desactiva el bloqueo del diferencial y se espera a que la transmisión se detenga por completo. Con este paso se prepara el banco para la siguiente prueba.

15.- Presión en marcha larga:

Se activa la electroválvula del embrague inferior del eje de entrada correspondiente a la segunda relación “Hi/Lo-Clutch”. Con el test, de 2 segundos de duración, se mide la intensidad de la electroválvula para asegurar su energización.

16.- Frenado simétrico en marcha larga:

Partiendo de las condiciones del test anterior en las que se encontraba embragada la segunda marcha, se activa el bloqueo del diferencial y se pone en marcha el eje de entrada hasta una velocidad de 900 rpm. Igual que en el test de frenado simétrico en marcha corta, se activan ambos frenos de servicio y se comprueba la diferencia de velocidad entre los ejes de salida. Al igual que en marcha corta, la duración de la prueba es de 8 segundos y se comprueba el ratio de salida.

17.- Paso por cero:

Se trata de una prueba transitoria del banco con una duración de 4 segundos. En este paso se desactiva el embrague “Hi/Lo- Clutch”, el bloqueo del diferencial y se espera a que la transmisión se detenga por completo. Con este paso se prepara el banco para la siguiente prueba.

18.- Despegue de discos:

Partiendo de las condiciones del test anterior, con la transmisión detenida, sin marcha seleccionada y los frenos de servicio activos, se acelera el eje de entrada 1700 rpm con el fin de liberar los discos de fricción del embrague inferior del eje de entrada (“Hi/Lo- Clutch”). Es un paso transitorio con una duración de 1 segundo.

19.- Rodadura en punto muerto tras marcha larga:

Con una velocidad de 1700 rpm en el eje de entrada, se activa el bloqueo del diferencial y se mantiene el sistema sin ninguna marcha seleccionada. El test dura 6 segundos y su finalidad es comprobar que las arandelas Belleville del segundo embrague funcionan correctamente y no hay transmisión de potencia a los ejes de salida, es decir, la velocidad de salida es cero.

20.- Detención para finalización:

Se trata de un paso de transición para asegurar que la transmisión se ha detenido por completo. Se desactiva el bloqueo del diferencial, se mantiene libre, y se mide la velocidad de salida de ambos ejes. El paso tiene una duración de 1 segundo.

21.- Deslizamiento del parking Brake:

Durante el transcurso de las pruebas anteriormente descritas, la electroválvula del freno de estacionamiento, o parking brake, se encuentra activa; esto quiere decir que el circuito se encuentra presurizado y el freno liberado. Para comprobar el funcionamiento del freno de estacionamiento, se libera el circuito de aceite, lo que hace que las arandelas Belleville presionen los ferodos y activen el freno. Una vez hecho esto, se aplica un par de 200 Nm con ayuda de una llave dinamométrica sobre el eje de entrada y se comprueba que no exista deslizamiento.

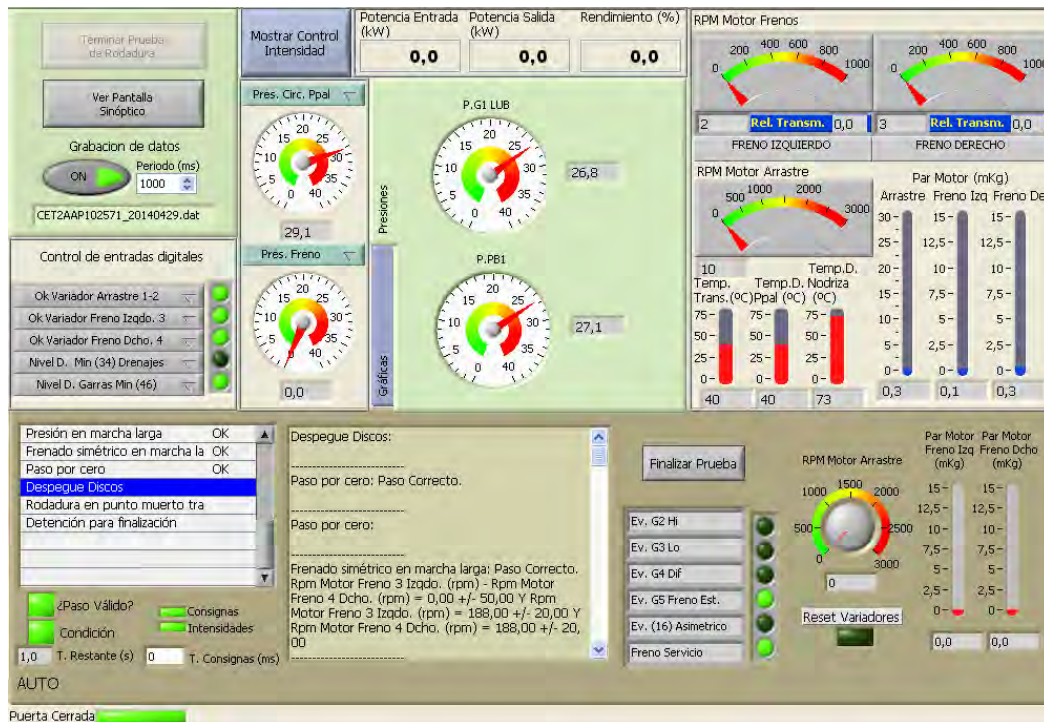


Figura 87: "Pantalla de ensayos de rodadura"

Como se puede comprobar, el trabajo conjunto de ambos bancos asegura que el producto cumple con los requisitos de calidad y funcionalidad. El banco hidráulico asegura la estanqueidad tanto de la transmisión completa (posibles fugas de aceite de lubricación) como de los diferentes circuitos hidráulicos, comprobando que no existan fugas y se trabaje bajo las condiciones de presión y caudal adecuadas. Por otro lado, el bando de rodadura garantiza el correcto funcionamiento de la transmisión: sistema de activación/desactivación del diferencial, accionamiento y funcionalidad de los frenos, estabilidad del sistema, comprobación del cuerpo de válvulas, etc. También se verifica que la lectura de los sensores es correcta y los datos obtenidos no son resultado de una lectura falsa.

Cabe destacar que al trabajo de ambos bancos se le une la acción de los operarios de los puestos que en caso de detectar ruidos o anomalías, tanto de la transmisión como del banco, retiran la transmisión como no conforme y reportan el hecho a supervisión para su posterior estudio y ensayo.

Capítulo VI: Metodología

El objetivo del siguiente capítulo es exponer las diferentes herramientas empleadas para el análisis y toma de datos necesarios para implementar una mejora en el proceso de ensamblado de la línea. También se presentan las herramientas y pasos seguidos para el estudio de la producción diaria. Por último se explica el proceso seguido para el estudio de las transmisiones reprocesadas y la organización de la información obtenida.

Debido a los términos y condiciones de uso de las herramientas de la empresa, así como los términos de confidencialidad, parte de la información de la metodología seguida no podrá ser mostrada. En su lugar se presentan tablas ejemplo que ilustran el proceso empleado.

6.1. Situación de partida

Antes de comenzar a presentar la metodología seguida para el estudio del proceso de montaje, es importante presentar la situación de partida del estudio.

La transmisión “ProDrive” cuenta con tres modelos productivos DE20902, DE20745 y DE19593. Como se ha indicado anteriormente, el objetivo del proyecto es el estudio y mejora del proceso de montaje de un nuevo modelo denominado DE30056 que sustituirá a la caja DE20902.

La introducción de un nuevo producto supone un reto debido a la complejidad funcional de la transmisión y los estrictos parámetros de calidad. Este hecho está acompañado de las modificaciones en el proceso de montaje con respecto a otros modelos y la necesidad de capacitar a los operarios en el funcionamiento y ensamblado de la transmisión.

Unido a la introducción del nuevo modelo, se plantea la modificación del puesto de reproceso que, como se expone en capítulos posteriores, no cuenta con los recursos de la línea de ensamblaje. Con la modificación y adaptación del puesto de reproceso se asegura que la calidad alcanzada en la línea se mantiene en las transmisiones reparadas. Por otro lado, se asegura que el puesto de trabajo cumple con los estándares de ergonomía.

En resumen, se parte de la introducción a producción de un nuevo modelo de transmisión, siendo necesario la realización de multitud de tareas por diferentes departamentos como logística, calidad, seguridad, producción y manufactura. A su vez es necesario realizar las pruebas y documentación necesaria asociada a la entrada a producción de una nueva caja de cambios como son: análisis modal de fallos y efectos, modos de fallo, toma de tiempos, equilibrado de la línea, capacitación de los operarios, realización de hojas de datos mecánicos, análisis de la producción diaria y de las transmisiones defectuosas.

Con respecto al puesto de reproceso, es necesario realizar un seguimiento del número de transmisiones que no han superado los ensayos en banco. Junto con los datos recopilados se realiza un análisis de las principales causas de fallo para cada prueba y transmisión, es decir, un análisis de causa efecto que asocie a cada test no superado la causa del fallo.

6.2. Análisis modal de fallos y efectos

El análisis modal de fallos y efectos (AMFE) es la herramienta principal en la que se ha basado el estudio para la mejora del proceso de producción. Se trata de una herramienta de planificación de calidad que permite identificar las variables más significativas, tanto del proceso como del producto, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección. Esta herramienta permite determinar y establecer las acciones necesarias para la prevención de los posibles fallos así como la detección de los mismos, con el fin de evitar que productos defectuosos puedan llegar al cliente. En el Anexo V se ilustra un ejemplo de AMFE.

Tipos

Aunque existen diferentes modelos de AMFE, a continuación se presentan los 4 estándares empleados en John Deere:

a) **AMFE de diseño**

Se trata de un análisis preventivo durante la fase de diseño que trata de anticiparse a los posibles problemas o necesidades que puedan surgir durante la fase de producción.

Se analiza la elección de los materiales, su configuración física, las dimensiones, los tipos de tratamientos a aplicar y los posibles problemas de realización.

b) **AMFE de proceso**

En el AMFE de proceso se analizan los modos de fallo y sus efectos potenciales sobre el producto en un proceso de fabricación. Se realiza con el fin de asegurar el funcionamiento y la fiabilidad del producto exigidos por el cliente, analizándose los posibles fallos que pueden ocurrir en los diferentes pasos del proceso (materiales, equipo, mano de obra, métodos y entorno) y cómo éstos influyen en el producto resultante.

c) **AMFE de software**

Se trata de un análisis modal de fallos y efectos de diseño orientado al desarrollo de herramientas informáticas.

d) **AMFE de sistema**

El AMFE de sistemas consiste en aplicar este método a todos los procesos de la vida de un producto. Se puede considerar como una combinación del AMFE de diseño y de producto orientado al funcionamiento en servicio.

En la línea de montaje ProDrive se han realizado tanto el análisis de diseño como de proceso. Previamente al proceso de montaje se realiza un AMFE de diseño teniendo en cuenta las características de la línea de montaje y los bancos de ensayo, con el fin de asegurar que el producto se adaptaba a los recursos y necesidades, tanto del proceso productivo como del cliente. Posteriormente, una vez el diseño es destinado a producción, se realiza un análisis modal de fallos y efectos, en el que intervienen los departamentos de calidad, manufactura y producción. Este análisis es la base de estudio para el presente proyecto.

Objetivos y alcance

Los objetivos principales del análisis modal de fallos y efectos son:

- Satisfacer las necesidades del cliente
- Prevenir los posibles fallos antes de que se produzcan
- Identificar los posibles modos de fallo y su repercusión respecto a diferentes criterios: calidad, seguridad, etc.
- Determinar para cada modo de fallo los medios y procedimientos de detección
- Adoptar acciones, tanto correctoras como preventivas, que supriman las causas de fallo del producto, en diseño o proceso
- Analizar y valorar la eficacia de las acciones tomadas y documentar el proceso
- Reducir costes

Como puede verse, el análisis modal de fallos y efectos es una herramienta muy versátil que, en el presente proyecto, es empleada como base para la mejora del proceso de producción, así como una fuente de información y documentación para el estudio de las transmisiones durante el proceso de montaje.

6.2.1 Metodología AMFE

A continuación se indican los pasos necesarios para la aplicación del método AMFE. Este proceso es aplicable tanto para diseños o productos como para procesos. Dado que existen diferentes formatos de formularios, a continuación se presentan la secuencia de pasos a seguir en el formato AMFE empleado en John Deere:

Suposiciones de partida

Según las instrucciones para la realización del AMFE, o FMEA según sus siglas en inglés (Failure Mode and Effects Analysis), John Deere asume unas suposiciones de partida:

AMFE de diseño

- Todos los sistemas/componentes son fabricados y ensamblados según las especificaciones de diseño.
- Los problemas de fabricación o servicio deben ser tratados como problemas de diseño
- Los fallos a tener en cuenta no tienen por qué producirse necesariamente

AMFE de proceso

- El diseño es correcto
- Todas las piezas y los materiales recibidos son correctos y dentro de las especificaciones
- Los fallos a tener en cuenta no tienen por qué producirse necesariamente

Paso 1: Seleccionar el grupo de trabajo:

El grupo de trabajo se compone por personas involucradas en el proceso productivo o de diseño y que cuenten con una amplia experiencia y conocimientos del producto y/o del proceso objeto del AMFE. Se designa un coordinador para el grupo. El coordinador debe

dominar ampliamente la técnica del AMFE, encargarse de la organización de las reuniones y guiar al equipo en su realización.

Paso 2: Identificar el producto o proceso

En este paso, el grupo de trabajo se encarga de identificar sobre qué producto/proceso se va a aplicar el análisis. En el apartado de denominación se identifica el producto o proceso bajo estudio y se rellena la información complementaria. Por otro lado se define el tipo de AMFE a realizar: diseño, sistema, software o proceso.

Paso 3: Determinar las prestaciones o funciones del producto o proceso

Es necesario que todos los componentes del grupo tengan un conocimiento completo de las funciones del objeto de estudio para posteriormente poder identificar los modos de fallo potenciales, o bien tener una experiencia previa de productos o procesos semejantes.

Paso 4: Operación o función

La información incluida en este apartado depende del tipo de análisis.

- Para el AMFE de diseño se incluyen las funciones que realiza cada uno de los componentes.
- Para el AMFE de proceso se reflejan todas las operaciones que se realizan a lo largo del proceso de fabricación. Además de las operaciones de montaje se deben incluir todas las operaciones relacionadas con cada componente incluyendo operaciones de aprovisionamiento, producción, embalaje, almacenamiento y transporte.

Paso 5: Modos de fallo potenciales

En esta columna se deben asociar los posibles modos de fallos asociados a cada operación o función anteriormente descrita. Un modo de fallo se define como la forma potencial en que un elemento o conjunto puede fallar a la hora de satisfacer los requerimientos de diseño/proceso o los requisitos de calidad o funcionalidad.

Los modos de fallo se deben describir en función de términos físicos o técnicos, no como posibles síntomas detectados por el cliente o fallos humanos de montaje. A su vez, un modo de fallo no tiene por qué ser detectado inmediatamente por el usuario, y se deben considerar a la hora de rellenar el AMFE no solo el uso previsto, sino también aquellos fallos derivados del uso indebido.

Este punto del análisis se basa en la identificación de problemas potenciales de calidad del producto o del proceso, por lo tanto, para poder rellenar este apartado será necesario conocer adecuadamente el producto y el proceso de ensamblado. Antes de comenzar a rellenar la columna de modos de fallo es recomendable llevar a cabo un exhaustivo análisis, recogida de datos (realización de pruebas, reclamaciones, auditorías, etc.) y revisión de los informes realizados en análisis anteriores, relacionados con el producto o proceso que se está analizando.

Paso 6: Efectos potenciales de fallo

Suponiendo que el fallo potencial ha ocurrido, se identificarán todas las posibles consecuencias que éstos pueden implicar para el cliente, tanto externo como interno. Cada

modo de fallo puede conllevar varios efectos potenciales, teniendo en cuenta también la posible repercusión en todo el sistema.

Paso 7: Índice de Severidad

El índice de severidad valora el nivel de las consecuencias que el posible fallo tendría para el cliente. Este valor, que varía de uno a diez, está basado únicamente en los efectos del fallo y es independiente de la frecuencia y de la detección. Sólo es posible mejorar este valor mediante acciones de diseño.

La clasificación de gravedad está basada únicamente en el efecto del fallo, por lo tanto, todas las causas potenciales del fallo para un efecto particular, recibirán la misma clasificación de gravedad.

Con el fin de emplear unos criterios comunes, John Deere ha desarrollado una tabla de clasificación de severidad de cada efecto, con el fin de unificar la asignación de valores en cada región. A continuación se presenta un ejemplo para la valoración de la severidad (ver tabla 6):

Tabla 6: "Criterios para la valoración del índice de severidad"

Criterio	Severidad
<u>Muy escasa</u> : El defecto sería imperceptible por el usuario.	1
<u>Escasa</u> : El cliente puede notar un fallo menor, pero sólo provoca una ligera molestia	2-3
<u>Baja</u> : El cliente nota el fallo y le produce cierta molestia	4-5
<u>Moderada</u> : El fallo produce disgusto e insatisfacción en el cliente	6-7
<u>Elevada</u> : El fallo es crítico, originando un alto grado de insatisfacción en el cliente.	8-9
<u>Muy elevada</u> : El fallo implica problemas de seguridad o de no conformidad con los reglamentos en vigor.	10

Paso 8: Causa potencial de fallo

En este paso se identifican para cada modo de fallo todas las posibles causas que lo puedan ocasionar, ya sean causas directas o indirectas. Con este análisis se determinan los indicios de debilidad de un diseño o proceso cuya consecuencia ha llevado al modo de fallo, y su conocimiento permite establecer las posteriores acciones correctoras.

Las causas deben ser lo más concisas y completas posibles, de modo que las acciones correctoras y/o preventivas se puedan orientar correctamente hacia las causas correspondientes al modo de fallo.

Paso 9: Índice de Ocurrencia

La ocurrencia se define como la probabilidad de que una causa específica se produzca y dando lugar al modo de fallo, es decir, la frecuencia con la que se sucede la causa potencial de fallo.

A no ser que se dispongan de datos históricos de fiabilidad, el índice de la ocurrencia constituye más un dato representativo que una probabilidad exacta, ya que no se puede conocer con seguridad la frecuencia de un hecho.

Para la asignación del índice de ocurrencia se deben de considerar dos probabilidades:

- Probabilidad de que se produzca la causa potencial de fallo.
- Probabilidad de que, una vez ocurrida la causa de fallo, ésta provoque el fallo, antes de que el producto llegue al cliente.

Para reducir el índice de ocurrencia se debe o bien modificar el diseño/proceso, reduce la probabilidad de que se produzca la causa del fallo, o bien implementar o mejorar los sistemas de control.

Al igual que con el índice de severidad, John Deere ha desarrollado una tabla con el fin de unificar la asignación de valores en cada región. En ella, los valores de ocurrencia varían del 1 al 10 y representan una probabilidad entre el 0,01% y el 10%. La siguiente tabla (ver tabla 7) ilustra un ejemplo de una tabla para la valoración de la ocurrencia:

Tabla 7: "Criterios para la valoración del índice de ocurrencia"

Criterio	Ocurrencia
<u>Muy escasa</u> : 1 de cada 10000 productos presentan un defecto	1
<u>Escasa</u> : de 1 de cada 1000 a 1 de cada 500 productos presentan un defecto	2-3
<u>Moderada</u> : el 1% del total de productos presentan un defecto	4-5
<u>Frecuente</u> : el 2% del total de productos presentan un defecto	6-7
<u>Elevada</u> : del 5 al 7% del total de productos presentan un defecto	8-9
<u>Muy elevada</u> : más del 10% del producto presenta un defecto	10

Paso 10: Controles actuales

En este apartado se recogen todos los controles, tanto de detección como de prevención, que existen en el momento en el que se realiza el análisis.

Paso 11: Probabilidad de no detección

Para determinar el índice de detección, se parte de la premisa de que cada modo de fallo ha ocurrido. Su objetivo es evaluar la probabilidad de no detectar cada causa y modo de fallo resultante, antes del que el producto llegue al cliente, evaluando de este modo la capacidad de los controles actuales.

Al igual que el resto de índices, su valor varía de 1 a 10, en valor descendente de capacidad de detección, es decir, cuanto mayor es el número más improbable es que se detecte la causa o modo de fallo en el proceso. La siguiente tabla (tabla 8) recoge unos valores ejemplo para valorar la capacidad de detección:

Tabla 8: "Criterios para la valoración del índice de detección"

Criterio	Detección
<u>Muy escasa</u> : El defecto es obvio. Resulta improbable que no se detecte con los controles existentes.	1
<u>Escasa</u> : El defecto aunque es obvio y fácilmente detectable, podría escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado.	2-3
<u>Moderada</u> : El defecto es una característica de bastante fácil detección.	4-5
<u>Frecuente</u> : El defecto es difícilmente detectable y llega con frecuencia al cliente.	6-7
<u>Elevada</u> : El defecto es de naturaleza tal que su detección es relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control y ensayo.	8-9
<u>Muy elevada</u> : El defecto llegará con mucha probabilidad al cliente al ser difícilmente detectable.	10

El índice de detección se puede reducir mediante la adición de controles de proceso adicionales para mejorar la detección o prevención de un defecto.

Paso 12: Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

Es el producto de los índices de severidad, ocurrencia y detección, y debe ser calculado para todos los modos de fallo. Este valor se emplea con el fin de priorizar las causas potenciales de fallo con el fin de implementar posibles acciones correctoras.

$$NPR = Severidad \cdot Ocurrencia \cdot Detección$$

El valor resultante puede oscilar entre 1 y 1.000, indicando en valor creciente el mayor potencial de riesgo.

Paso 13: Nivel de prioridad de riesgo

En función de la combinación de los diferentes índices y el número de prioridad de riesgo obtenido, se asigna un nivel de prioridad a cada causa del modo de fallo, organizando dichas causas en leve, media o alta. Este orden de prioridad indica la necesidad de imponer acciones correctoras.

Aquellos casos cuyo índice de severidad sea 9 o 10, independientemente del NPR obtenido, se tratará como nivel de prioridad elevado debido a la gravedad del modo de fallo.

Paso 14: Acción correctora

Cuando el nivel de prioridad es alto se deben establecer acciones de mejora para disminuir los índices de severidad, ocurrencia o detección. Estas acciones correctoras pueden conllevar, entre otros, cambios en el diseño del producto, cambios en el proceso de fabricación o un incremento de los controles de calidad. De forma general, se seguirá el principio de prevención para reducir el índice de ocurrencia o eliminar las causas de los posibles fallos (acciones correctoras); en su defecto, se implantarán medidas orientadas a reducir la gravedad del efecto (acciones contingentes).

Para cada acción se fijará un responsable y la fecha límite para la realización de dichas acciones.

Paso 15: Revisar AMFE

El AMFE se revisa periódicamente, en la fecha establecida previamente, con el fin de definir las acciones implantadas. Como consecuencia de las acciones correctoras implantadas, se deben evaluar de nuevo los índices (severidad, ocurrencia y detección) así como el NPR resultante. Este nuevo cálculo determina la eficacia de las acciones de mejora implantadas.

Hasta que todos los modos de fallo no se encuentran por debajo de los valores establecidos por la empresa, se debe seguir revisando el AMFE para aplicar nuevas acciones correctoras. Aunque se alcancen los valores deseados es recomendable realizar revisiones periódicas para tener el documento actualizado, especialmente cuando:

- Se realicen modificaciones de producto o proceso estudiado
- Se emplee el producto o proceso para nuevas aplicaciones
- Existan reclamaciones por parte de los clientes
- Se busque realizar mejoras sobre el producto o proceso

6.3. Recopilación y análisis de datos

Como se ha indicado anteriormente, para la realización del análisis modal de fallos y efectos es necesario conocer los modos de fallo del producto así como las causas de dichos fallos, el nivel de severidad, ocurrencia y detección. Estos datos no pueden basarse en meras suposiciones, por lo que serán necesario una recopilación de datos sobre la producción de la transmisión así como la realización de diferentes ensayos y pruebas.

6.3.1. Modos de fallo

Se trata de una serie de pruebas, análisis y ensayos que se realizan tanto sobre la transmisión como los recursos de la línea. Estos ensayos se emplean por un lado como datos de partida para completar el AMFE y, por otro lado, como documentación y fuente de información sobre el producto.

Con respecto al AMFE, estas pruebas otorgan información sobre los posibles modos de fallo del producto y las causas de dicho fallo, proporcionando a su vez datos tangibles sobre la severidad o gravedad del posible fallo y la capacidad de detección del mismo en función de los recursos de la línea de montaje.

En el caso de la transmisión ProDrive, estas pruebas se realizan en los diferentes bancos de ensayos de la línea de montaje, tanto de premontajes como del montaje final:

- Banco de pruebas de diferencial
- Banco de pruebas eje de entrada
- Banco de pruebas hidráulico
- Banco de rodadura

Para cada prueba de banco, y en función de los elementos implicados en dicha prueba, se provocan las posibles causas de fallo y se analizan los resultados. Con ello se obtiene información acerca de cómo influye cada elemento de la transmisión en el correcto funcionamiento de la misma; a su vez, se observa la capacidad de los bancos para detectar estos fallos.

Por ejemplo, para la prueba del banco hidráulico denominada “Fuga de Diferencial” (ver capítulo IV) se elimina o daña una junta de estanqueidad del circuito y se realiza la prueba sobre la transmisión. Con esta simulación, se observa si el banco detecta el fallo en la junta, como afecta este supuesto error en el montaje sobre el funcionamiento de la transmisión y los valores de presión y caudal obtenidos.

Los resultados se exportan al AMFE, en el cual se otorgan los valores de severidad y detección. Como se expuso anteriormente, si la causa no es detectada o el nivel de prioridad de riesgo es elevado, se deberán tomar medidas correctoras.

En el ejemplo anterior, en el caso de que el banco no detectase la falta de la junta, o el NPR fuese elevado por la gravedad del fallo o la incidencia del mismo, se debería toma una medida correctora. En este caso, una supuesta medida sería colocar un Poka-Yoke en el puesto de montaje de dicha junta.

Es importante destacar que, generalmente, un modo de fallo puede ser provocado por dos o más causas. Por ello en los ensayos de modos de fallo se comprueba todas las posibles causas relacionadas con un mismo fallo.

6.3.2. FPY

Es un medible que se emplea para analizar el montaje de las transmisiones. Se trata de un índice de calidad que mide el porcentaje de unidades terminadas en la línea y que cumplen las pautas de calidad, indicando por lo tanto la eficiencia de proceso de producción.

En el caso del cálculo del FPY (First Pass Yield) para la línea de montaje ProDrive, los datos se recogen en base a los informes generados en los diferentes bancos de prueba de la cadena. A partir de los informes y del sistema de trazabilidad se obtienen los siguientes datos:

- Transmisiones buenas a la primera: aquellas cuyo montaje se ha finalizado satisfactoriamente.
- Transmisiones con repetición: aquellas en las que, sin realizar reparación alguna, es necesario repetir los ensayos en banco al no haber superado las pruebas en un primer paso.
- Transmisiones defectuosas: no cumplen los requisitos de calidad/funcionalidad y se envían al puesto de reproceso.
- Número total de transmisiones montadas en la línea: es la suma de los dos anteriores grupos

Junto con estos datos se recoge también la siguiente información:

- Transmisiones reprocesadas: número de cajas reparadas satisfactoriamente, han superado todos los ensayos y son enviadas a la línea de pintura.
- Transmisiones desguazadas: transmisiones cuya reparación no puede llevarse a cabo por diferentes causas.
- Transmisiones reprocesadas que no han superado la prueba de rodadura: son cajas reparadas con el ensayo hidráulico correcto pero no superan los test de rodadura. Se envían a reproceso de nuevo.

Una vez conocido el número de cajas que han tenido algún fallo, y conocido el número total de transmisiones montadas, se puede calcular el FPY del proceso para un periodo de tiempo determinado. Gracias a este indicador, se puede conocer si el proceso de montaje está siendo óptimo, si hay algún problema en cadena, se pueden comparar la eficiencia entre turnos o productos, etc.

El FPY se calcula dividiendo el número de unidades totales que salen de la cadena menos las unidades defectuosas, entre el número de unidades totales; es decir, en el numerador se sitúan las transmisiones que son válidas a la primera y en el denominador el total de transmisiones que han entrado en la línea. A continuación, se presenta un ejemplo:

En la cadena se montan en un turno un total de 51 cajas de las cuales 7 no superan los ensayos y se mandan al puesto de reproceso para ser reparadas.

$$FPY = \frac{\text{Total unidades} - \text{Unidades defectuosas}}{\text{Total unidades}} \cdot 100 = \frac{51 - 7}{51} \cdot 100 = 86,27\%$$

El First Pass Yield se calcula diariamente y es almacenado en una base de datos que contiene el histórico de producción por modelo. Estos datos permiten también realizar un análisis de la efectividad de las medidas tomadas en el AMFE, ya que, si dichas medidas son de carácter corrector, el número de cajas defectuosas debería de disminuir y el FPY, por lo tanto, aumentar.

6.3.3. Análisis de transmisiones defectuosas

Como ya se ha indicado, para el cálculo del PFY se recogen también los datos de las transmisiones defectuosas. Junto con estos datos se toman a su vez las observaciones o fallos detectados por los operarios, con respecto a las transmisiones con fallo o el funcionamiento de los bancos, ya que no siempre los fallos son debidos a errores de la transmisión.

Tan importante es conocer el número de cajas que se han montado correctamente, o la eficiencia del proceso, como el número de transmisiones defectuosas y las causas de los fallos. Por ello se realiza un seguimiento diario en base a los resultados de las transmisiones en los bancos de la línea. Los informes son analizados y recogidos en unos paretos de fallos diarios (figura 88 y 89) y en un histórico por mes y modelo de producto. A continuación, se muestra un ejemplo de dichos paretos obtenidos a partir de los informes de los bancos:

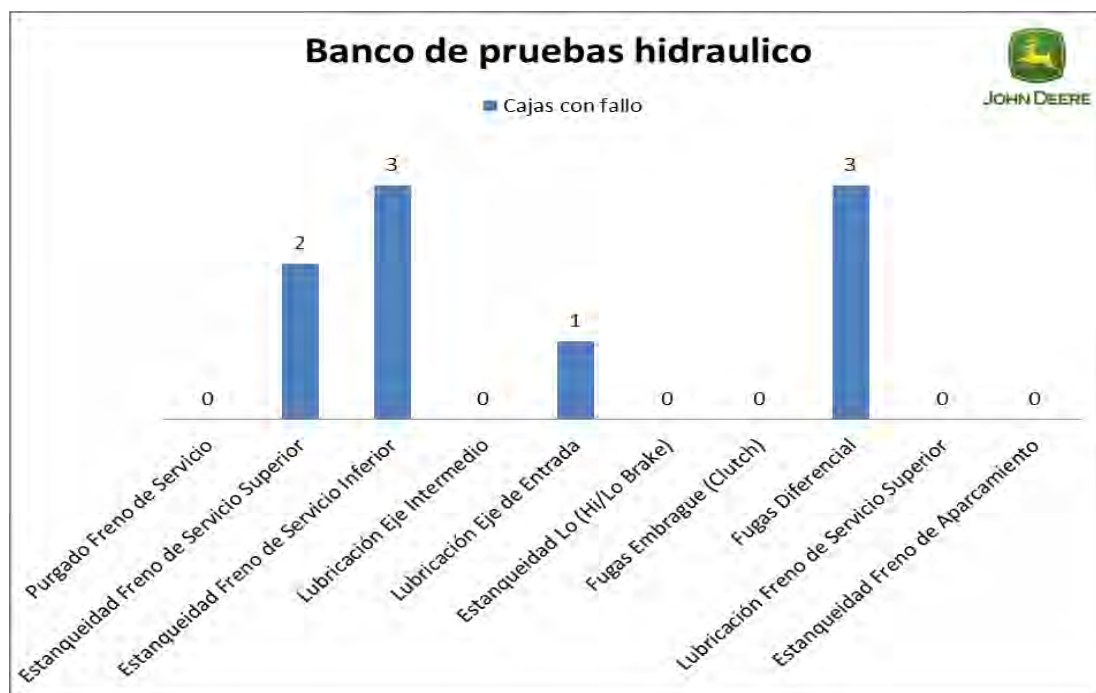


Figura 88: "Pareto de fallos de banco hidráulico"

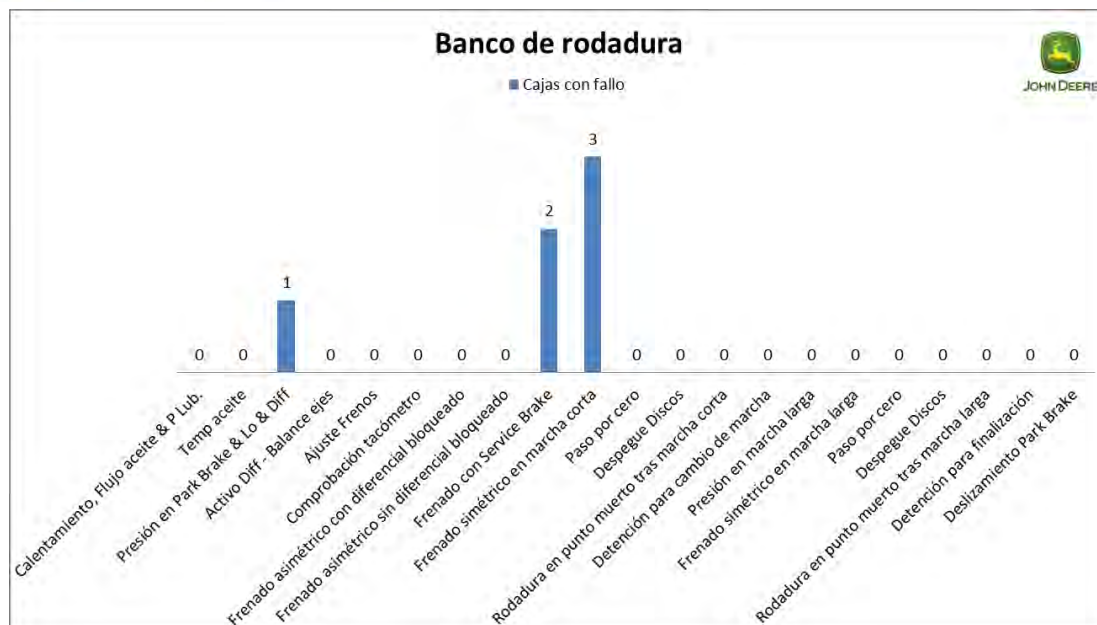


Figura 89: "Pareto de fallos de banco de rodadura"

Posteriormente se realiza un seguimiento de cada transmisión defectuosa que se ha derivado al puesto de reproceso. Se almacena el número de serie con el fallo, el modelo de caja y la reparación realizada para subsanar el fallo. Con estos datos no solo se conocen los test que la transmisión no ha superado, sino las causas de este fallo, lo que permite conocer de forma aproximada la ocurrencia por cada modo de fallo en el AMFE. La siguiente imagen (figura 90) ilustra una tabla ejemplo de la recopilación de datos de las transmisiones reprocesadas:

SEGUIMIENTO DE CAJAS REPROCESADAS - PRODRIVE								
Fecha	Referencia	Nº Serie	Fallo Prueba Hidráulica	Fallos Rodadura	Fallos Cadena	Reproceso Realizado	P. Hidráulica OK/NOK	P. Rodadura OK/NOK
18/10/2013	DE30056	100476	Fugas Diferencial			Se quita flor y se ve segmento dañado, se cambia por otro y se monta flor de nuevo. Microfugometro y prueba hidráulica. Montaje de tuberías.	OK	NOK
21/10/2013	DE30056	100481	Fuga de Aire			localizada el día 17 en la tapa frontal con un valor aprox. 3 se repite y en dos ocasiones da ok, montaje de tuberías y c.v. se manda a rodar	OK	Pendiente
21/10/2013	DE30056	100495	Lubricación Freno de Servicio Superior			Se repite prueba con resultado positivo. Montaje de tuberías	OK	OK
21/10/2013	DE30056	100493	Fugas Diferencial			Se quita flor y se ve segmento dañado, se cambia por otro y se monta flor de nuevo. Microfugometro y prueba hidráulica. Montaje de tuberías.	OK	OK
21/10/2013	DE30056	100462	Fugas Diferencial			Se quita flor y se ve segmento dañado, se cambia por otro y se monta flor de nuevo. Microfugometro y prueba hidráulica. Montaje de tuberías.	OK	Pendiente

Figura 90: "Pantalla de recopilación de datos del puesto de reproceso"

A partir de los datos obtenidos del análisis modal de fallos y efectos, los ensayos de modos de fallo y la recopilación de datos de la línea y reproceso, se realiza un manual de resolución de modos de fallo (ver VI). Dicho manual recoge los pasos recomendados a seguir para el proceso de reparación en función de las pruebas en banco y las posibles causas de fallo.

Como se ha visto, el proceso de mejora de montaje es una actividad dinámica y constante que debe realizarse durante toda la vida del producto. Para el proceso de mejora se estudiarán y analizarán los principales modos de fallo en un proceso cíclico de mejora continua.

Capítulo VII: Plan de mejora del proceso de montaje

En este capítulo se aborda el primer objetivo del proyecto, analizar la transmisión para cosechadora ProDrive modelo DE30056, con el fin de adaptar y mejorar el proceso de montaje. Para ello, se procede al análisis de los rechazos obtenidos en la cadena de producción, analizando las principales causas de fallo. Cada modo de fallo se detalla en profundidad, indicando el funcionamiento de las pruebas, los elementos implicados, los resultados del análisis modal de fallos y efectos de proceso de cada pieza y las acciones llevadas a cabo.

7.1. Análisis de la situación productiva actual

Como se expuso en el capítulo de metodología, el control de la producción se realiza diariamente para cada línea de montaje. Los datos recogidos se analizan por turno, por día y por modelo de transmisión. Esta comparativa permite conocer la capacidad de la línea, así como estimar el impacto sobre la producción en función de diferentes factores.

Por otro lado, cada semana se comparan los resultados actuales con los obtenidos la semana previa (ver figura 91). Estos datos se centran principalmente en las cajas defectuosas y las causas de dichos fallos, analizando a su vez el porcentaje semanal con respecto al acumulado. En función de los resultados y, en caso de que fuese necesario, se toman unas medidas preventivas que se incluirán en el AMFE. A continuación se presenta un ejemplo del análisis semanal de resultados:

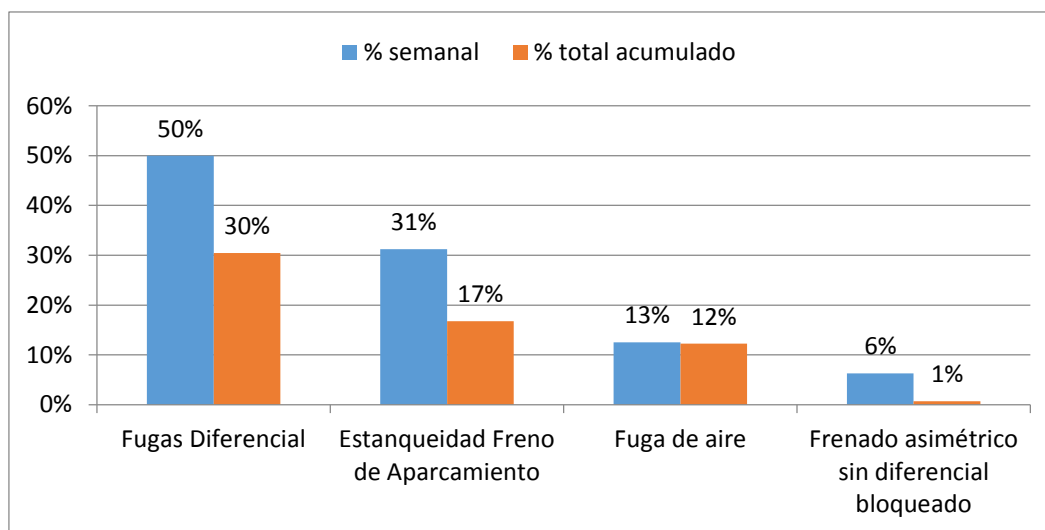


Figura 91: “Gráfico de comparación semanal de los principales modos de fallo”

En cuanto a los resultados analizados, el presente proyecto se basa en el estudio de la producción del modelo de transmisión ProDrive DE30056. Temporalmente, el estudio comienza el 30 de septiembre de 2013 y finaliza el 21 de marzo de 2014. Dado que la producción de la línea es por lote, existiendo cambios de modelo, los datos recogen 17 semanas y un total de 77 días productivos del modelo bajo estudio.

A continuación se exponen los resultados obtenidos durante el periodo de análisis descrito (ver tabla 9):

- Transmisiones montadas en la línea: 1572
- Transmisiones Correctas: 1337
- Transmisiones Defectuosas: 235

Tabla 9: "Tabla de datos resumen del análisis de producción de la transmisión ProDrive DE30056"

		Cajas Rodadas	Correctas	Defectuosas	%Correctas	%Defectuosas
Semana 1	30Sep-4Oct	61	48	13	78,69%	21,31%
Semana 2	7Oct-11Oct	72	61	11	84,72%	15,28%
Semana 3	14Oct-18Oct	65	51	14	78,46%	21,54%
Semana 4	21Oct-25Oct	81	68	13	83,95%	16,05%
Semana 5	28Oct-31Oct	53	45	8	84,91%	15,09%
Semana 6	13Nov-15Nov	59	50	9	84,75%	15,25%
Semana 7	18Nov-22Nov	95	83	12	87,37%	12,63%
Semana 8	25Nov-29Nov	114	95	19	83,33%	16,67%
Semana 9	14Ene-17Ene	83	67	16	80,72%	19,28%
Semana 10	20Ene-24Ene	129	114	15	88,37%	11,63%
Semana 11	27Ene-31Ene	134	113	21	84,33%	15,67%
Semana 12	11Feb-14Feb	122	110	12	90,16%	9,84%
Semana 13	17Feb-21Feb	109	86	23	78,90%	21,10%
Semana 14	24Feb-28Feb	88	81	7	92,05%	7,95%
Semana 15	5Mar-7Mar	61	52	9	85,25%	14,75%
Semana 16	10Mar-14Mar	153	137	16	89,54%	10,46%
Semana 17	17Mar-21Mar	93	76	17	81,72%	18,28%
		1572	1337	235		

A partir de los datos presentados en la tabla anterior, se puede estudiar la evolución de la línea de montaje para el ensamblado del modelo bajo estudio (figura 92).

Como se puede observar gráficamente, la producción aumenta consecutivamente con el paso del tiempo. Este aumento de la producción es debido, entre otras causas, a la adaptación de los recursos de la línea al nuevo modelo, así como a la capacitación de los operarios, el aumento de la experiencia de ensamblado y el equilibrado de la línea.

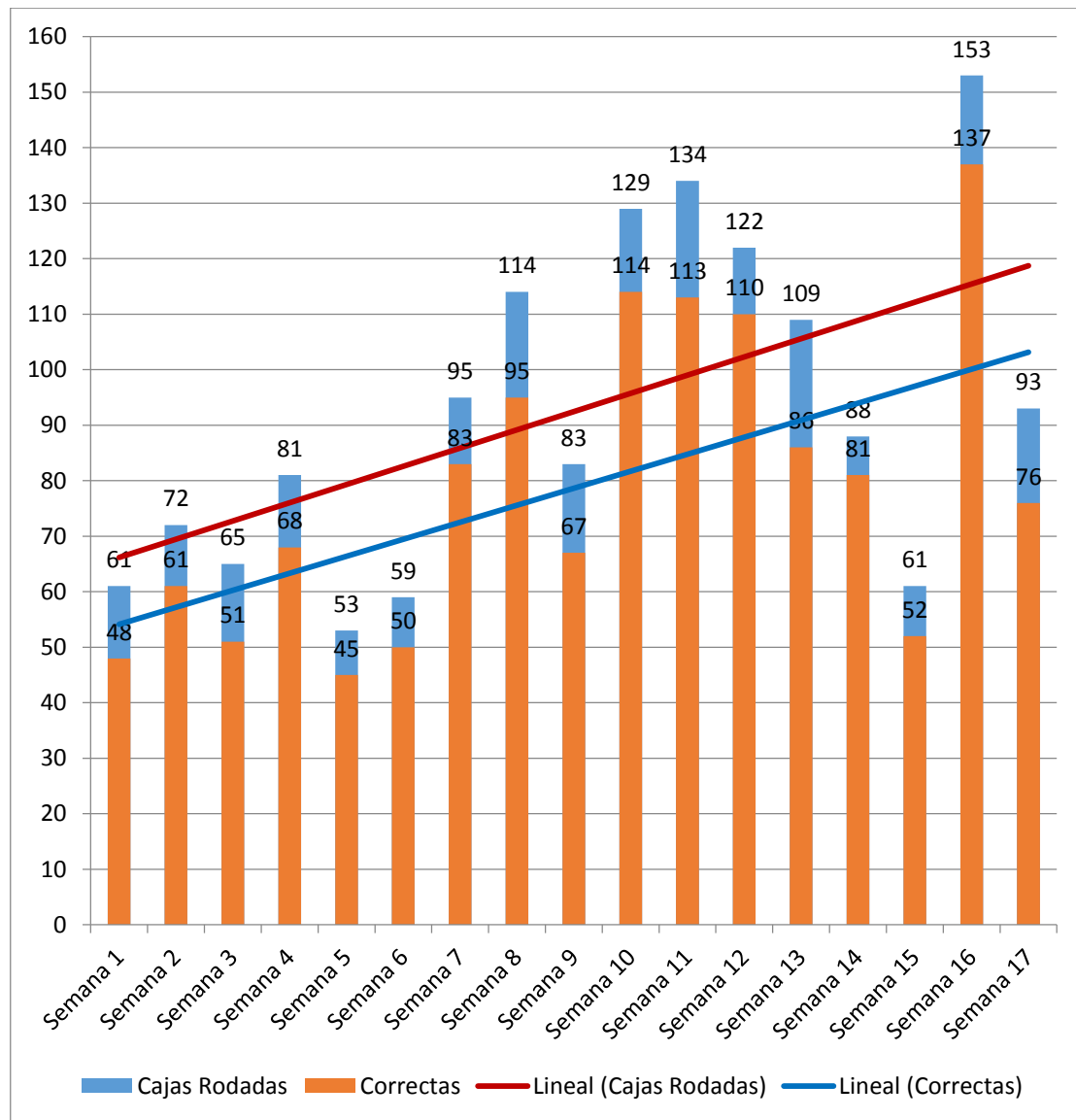


Figura 92: "Gráfica de producción semanal"

Debido a que los días de producción semanales no son constantes, el siguiente gráfico (figura 93) ilustra la evolución diaria del total de cajas producidas. A su vez, las fluctuaciones entre días se deben a multitud de factores como averías, número de operarios en cadena, puesta a punto de la línea, o tareas de limpieza y orden de los puestos, entre otras.

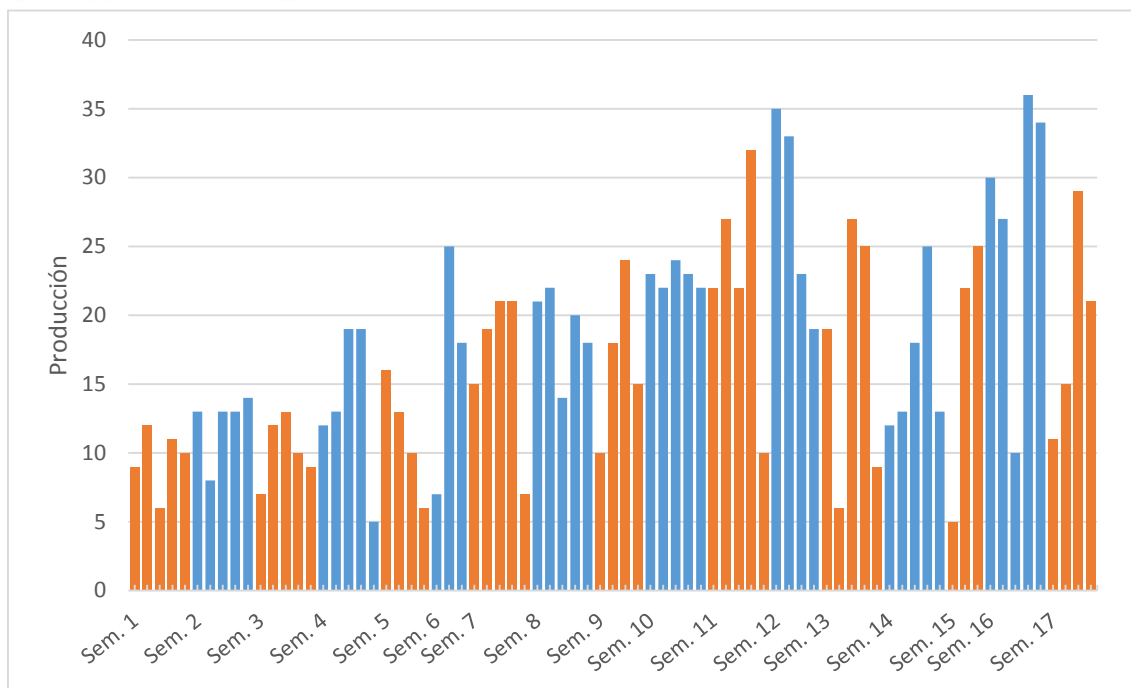


Figura 93: "Gráfico de producción diaria"

En relación a las transmisiones defectuosas, como puede verse a partir de los datos indicados, de media el 15% de las transmisiones presentan algún tipo de fallo y deben derivarse al puesto de reproceso para ser reparadas. Cabe indicar que dentro de estos datos no se incluyen aquellas transmisiones que, una vez reparadas, no superan la prueba de rodadura y deben reprocesarse de nuevo. Teniendo en cuenta otros modelos productivos, devoluciones de pintura y transmisiones reparadas por segunda vez, el número de cajas reprocesadas asciende a 450 transmisiones durante el periodo de estudio.

Respecto a las causas de fallo de las transmisiones defectuosas, éstas se recogen en tres grupos diferentes, ilustrados en el diagrama de la figura 94:

- Banco hidráulico: este grupo representa aquellas transmisiones que no han superado los ensayos que se realizan en el banco hidráulico.
- Banco de rodadura: recoge aquellas transmisiones que, una vez finalizado el montaje, no han superado los ensayos que se realizan en el banco de rodadura.
- Línea de montaje: representan aquellos defectos que se detectan durante el montaje. Dentro de este grupo se incluyen errores como roscas pasadas, piezas dañadas, errores de calibre, referencia mal montada, etc.

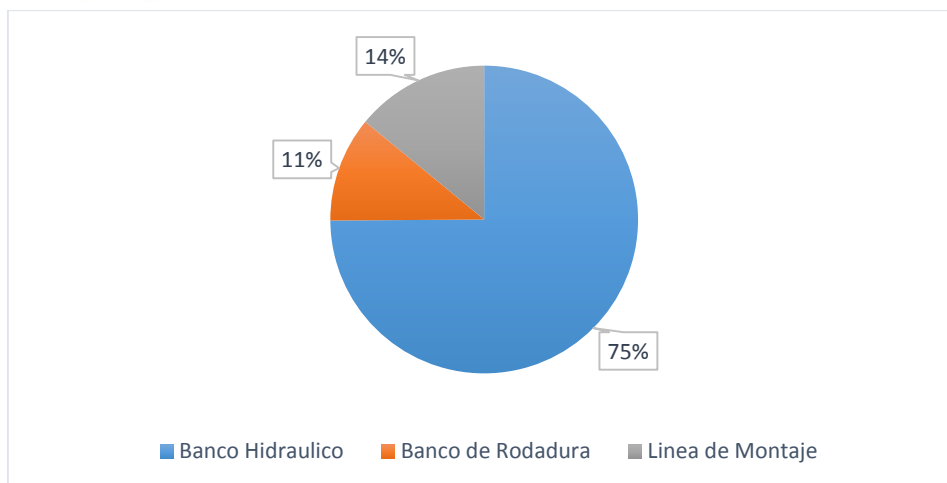


Figura 94: "Diagrama de porcentajes de fallos detectados"

Cada grupo se estudia tanto por separado, recopilando información de los principales modos de fallos individuales, y su porcentaje de ocurrencia con respecto al grupo que pertenece, como en conjunto; este último análisis refleja el impacto de cada modo de fallo sobre el total de las transmisiones defectuosas y sobre el total de las transmisiones montadas. Los datos referentes a los modos de fallo se presentan en el apartado "Análisis de las causas de fallo".

A parte de las causas de fallo, es necesario conocer el número de transmisiones defectuosas que se producen cada día y su evolución con respecto a la producción. El siguiente grafico (figura 95) ilustra el número de transmisiones montadas frente a las transmisiones defectuosas y la tendencia de las mismas. Por otro lado, se representa el porcentaje de las transmisiones con fallo y la tendencia de dicho porcentaje.

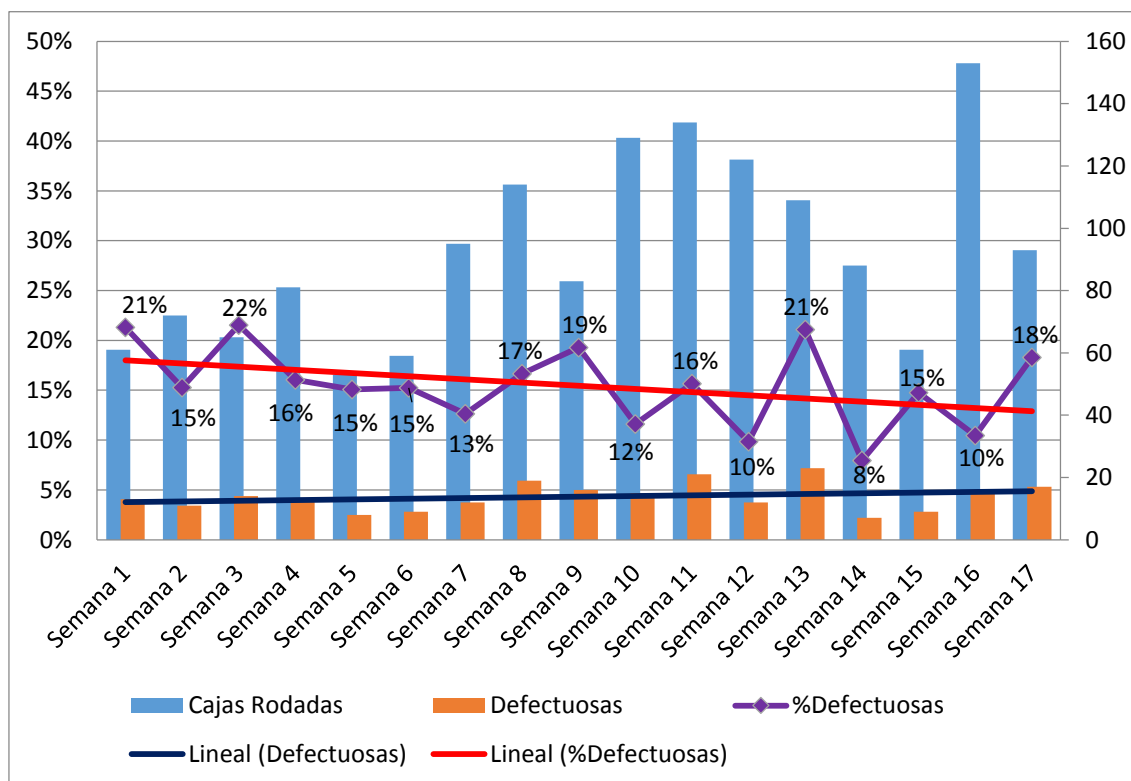


Figura 95: "Gráfico de evolución de transmisiones defectuosas"

Observando el número de transmisiones defectuosas se comprueba que, con el aumento de la producción, se produce una tendencia creciente del número de transmisiones con fallos. Esta tendencia al alza indica que con el tiempo han aumentado las causas de los posibles fallos, sin embargo, el porcentaje de transmisiones con fallos mantiene una tendencia a la baja, lo que indica que comparativamente se han ido disminuyendo los fallos en cadena. Las causas de esta disminución porcentual se encuentran, al igual que el aumento de la producción, en las medidas tomadas, así como en la capacitación y mayor experiencia en el proceso de ensamblado.

En relación al puesto de reproceso, se observa que un aumento del número de transmisiones defectuosas supone una mayor cantidad de cajas que deben derivarse para ser analizadas y reparadas. Como se expuso anteriormente, de media el 15% de las transmisiones del modelo DE30056 presentan algún tipo de defecto; con una producción estándar de 26 transmisiones por turno, 3 turnos por día y 294 días hábiles de trabajo, se obtiene que:

$$\text{Transmisiones defectuosas} = 3 \cdot 26 \cdot 294 \cdot \frac{15}{100} = 3439$$

Como se expondrá más adelante, el puesto de reproceso no cuenta con las herramientas ni las medidas de calidad de la línea de montaje, por lo tanto, el riesgo de que el cliente reciba una transmisión con algún tipo de defecto es elevado, por lo que será necesario, junto con las mejoras propuestas para la línea de montaje, modificar dicho puesto para asegurar que cuenta con los mismos medios de producción que la cadena.

7.2. Análisis de las causas de fallo

En este apartado se presentan los resultados de los diferentes modos de fallo. Gracias a los informes generados en los bancos de pruebas, es posible determinar los principales modos de fallo que afectan en mayor medida al correcto funcionamiento de las cajas.

Este análisis se basa en el estudio de los resultados obtenidos en los dos bancos de pruebas de la línea, es decir, se realiza un análisis de las transmisiones ensayadas tanto en el banco de pruebas hidráulicas como en el banco de rodadura. A su vez se recogen los posibles fallos en cadena o de montaje.

A continuación se muestran los resultados tanto de ambos bancos como de la línea de montaje. Los gráficos muestran el porcentaje de cada fallo con respecto del total de las cajas que presentan algún defecto.

7.2.1. Análisis banco hidráulico

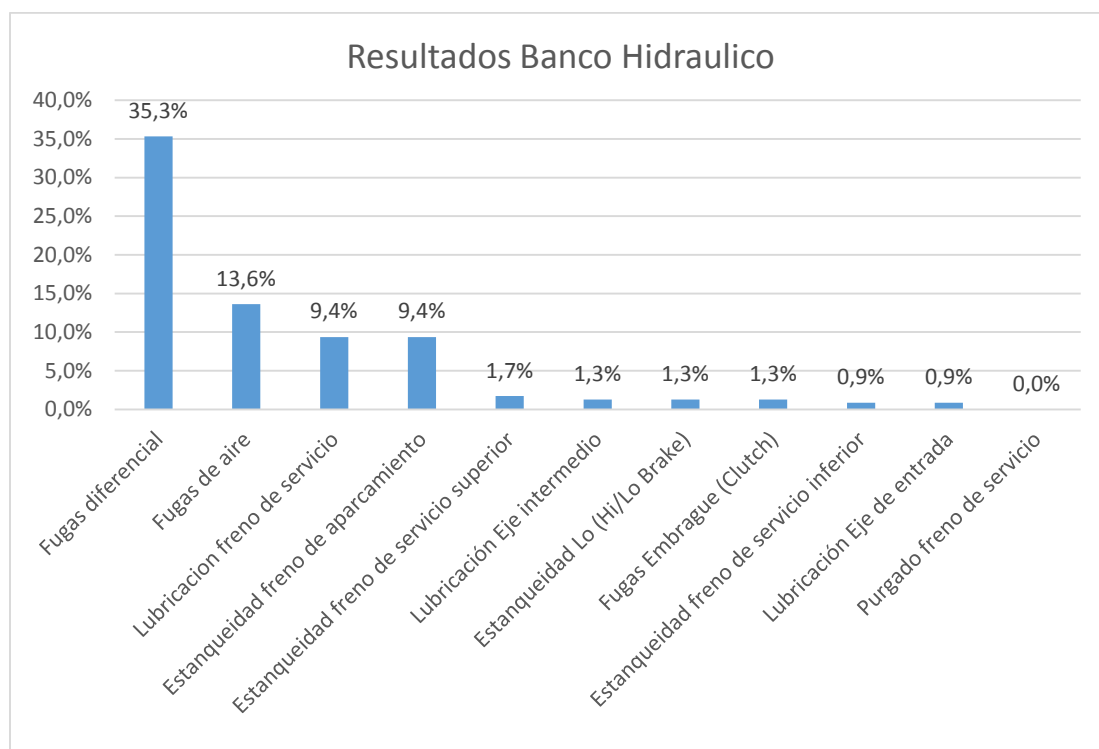


Figura 96: "Pareto de fallos de banco de ensayos hidráulicos"

Como se expuso anteriormente, los fallos en banco hidráulico (figura 96) suponen un 75% de los fallos totales. Las causas de fallo se desglosan a su vez en las distintas pruebas que se realizan a la transmisión. En función de estas pruebas se observa que:

- Fugas de diferencial: supone el 35,3% de los fallos que se producen con respecto del total de transmisiones defectuosas.
- Fugas de aire: representan el 13,6% de las transmisiones no conformes.
- Lubricación freno de servicio: es la tercera causa de fallo, con un 9,4% del total de las cajas defectuosas.
- Estanqueidad freno de aparcamiento: junto con la lubricación de freno de servicio supone el 9,4% de rechazo de transmisiones.

7.2.2. Análisis banco de rodadura

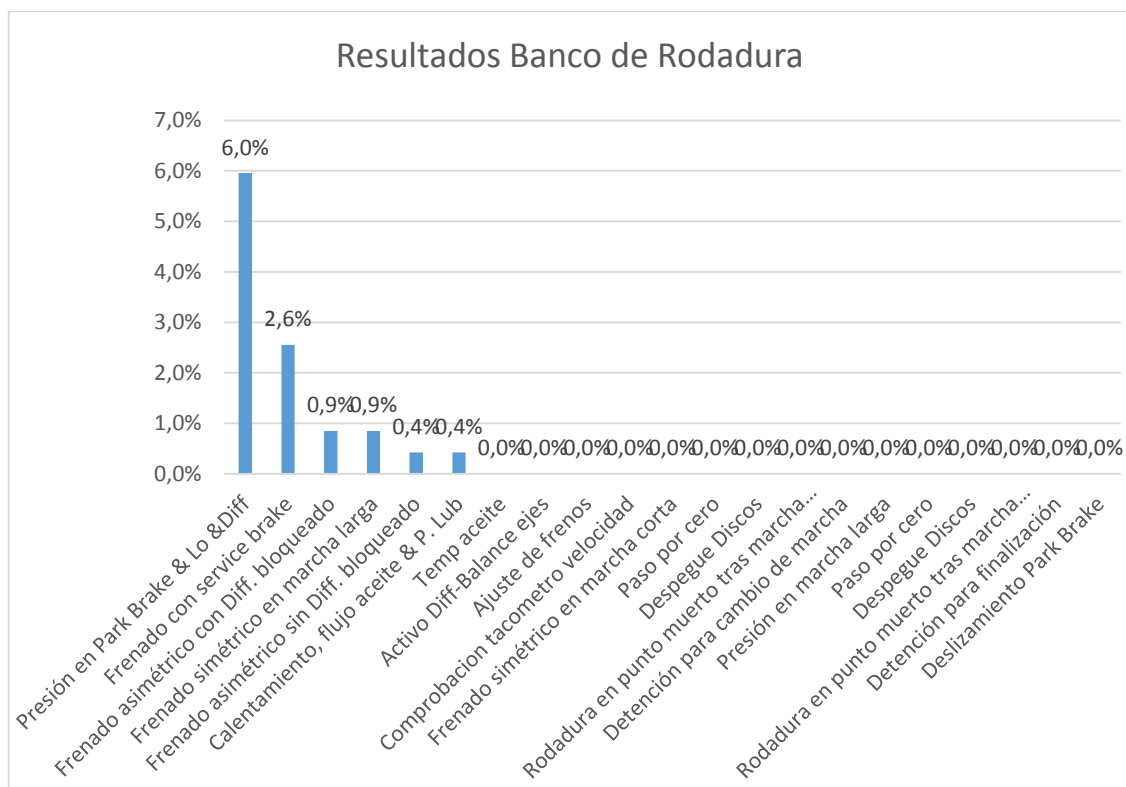


Figura 97: "Pareto de fallos de banco de ensayos de rodadura"

Las transmisiones rechazadas por el banco de rodadura suponen el 11% del total de transmisiones rechazadas. En el banco de rodadura se ensayan tanto las transmisiones que salen del puesto 6 de la cadena de montaje como las que han sido reprocesadas. Los datos recogidos (figura 97) reflejan únicamente las pruebas realizadas a las cajas de cadena, dado que se procede al estudio del proceso y no del producto.

7.2.3. Análisis fallos en cadena

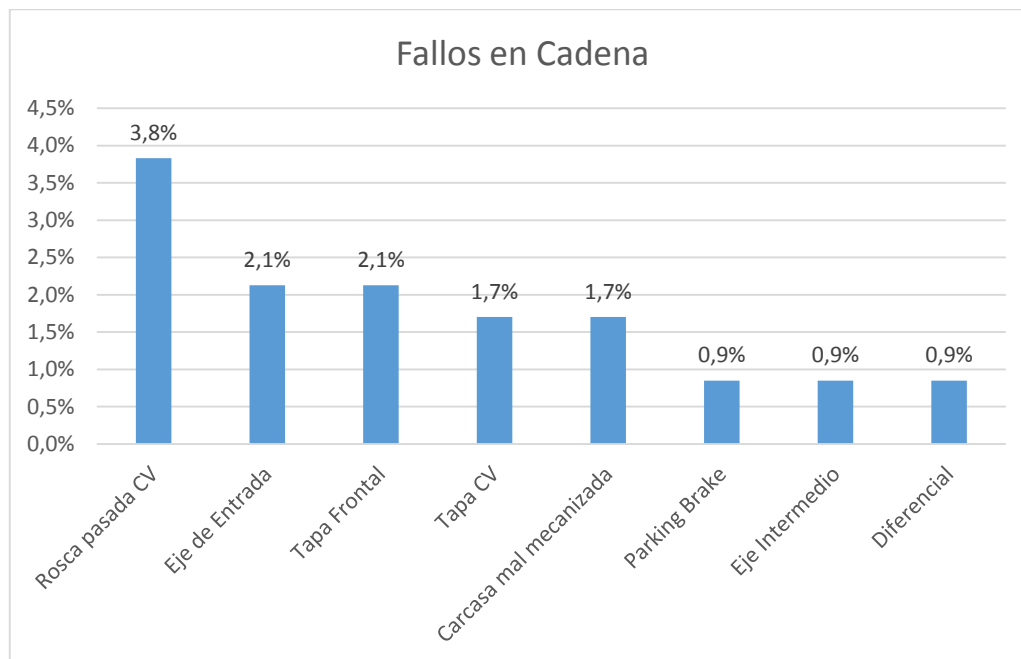


Figura 98: "Pareto de fallos en cadena de montaje"

Los fallos en cadena (figura 98) suponen el 17% de los defectos en las transmisiones montadas en línea. La dispersión de las causas es elevada y, para su análisis, se han recogido los datos en función del elemento de la transmisión implicado. Por lo tanto, a excepción del primer modo de fallo, el resto pueden deberse a errores en mecanizado de la pieza, referencia mal montada, pieza defectuosa o dañada en el montaje.

En función de los resultados obtenidos, se procede a explicar en los siguientes apartados cada una de las cuatro principales pruebas causantes de los fallos en las transmisiones. Para ello se expone la secuencia de la prueba, el circuito hidráulico ensayado, las posibles anomalías y elementos implicados.

7.3. Estudio de los principales modos de fallo

El presente apartado tiene por función presentar los principales modos de fallo, responsables del 67,7% de las transmisiones defectuosas. En el Anexo VII se presenta el diagrama de Pareto para las principales causas de fallo de la transmisión DE30056, en función de los datos recopilados de la línea de producción y las transmisiones reprocesadas.

Aquellos ensayos correspondientes al banco hidráulico, dado que el cuerpo de válvulas se monta sobre la transmisión en el puesto 6, el ensayo se realiza con un cuerpo de válvulas esclavo, mientras el banco de pruebas regula y monitoriza las presiones y caudales del sistema. Por lo tanto, en el banco hidráulico se comprueban los circuitos y estanqueidades del sistema, mientras que en el banco de rodadura se ensaya el comportamiento funcional de la transmisión.

En relación al análisis modal de fallos y efectos, los índices de ocurrencia se modifican en función de la toma de datos de los bancos de ensayo de la línea, complementándose a su vez con los resultados obtenidos de las transmisiones reprocesadas. Todos los índices se completan en relación a los rangos establecidos por la compañía John Deere.

7.3.1. Fugas de diferencial

Se trata de un ensayo realizado en el puesto 5 de la línea de montaje, correspondiente al banco de pruebas hidráulicas. El objetivo de la prueba es comprobar que no existan fugas de aceite superiores a 1,5 l/min, mientras se comprueba que se alcanza la presión requerida de 20 bares. Con esta prueba se asegura que el circuito hidráulico de activación del bloqueo del diferencial cumple con las especificaciones.

El circuito de activación comienza con el cuerpo de válvulas, el cual deriva el aceite a través de la tapa superior, o tapa del cuerpo de válvulas. La tapa cuenta con un mecanizado interno que dirige el aceite por el transportador superior; en relación al transportador, el circuito se cierra con un tapón para evitar su fuga a los ferodos del freno, un tapón situado en la carcasa y con dos juntas tóricas que aseguran la estanqueidad con respecto al resto de la transmisión. El aceite circula en dirección al diferencial y se libera en un mecanizado anular del transportador, cuya estanqueidad se mantiene con dos segmentos, situados a ambos lados del mecanizado. Entonces, el aceite circula a través de la tapa del diferencial hasta el pistón del embrague de bloqueo. El aceite es liberado a través de un pequeño orificio practicado en el pistón del embrague, desembocando en el paquete disco-ferodos. El circuito de actuación se ilustra en la figura 99.

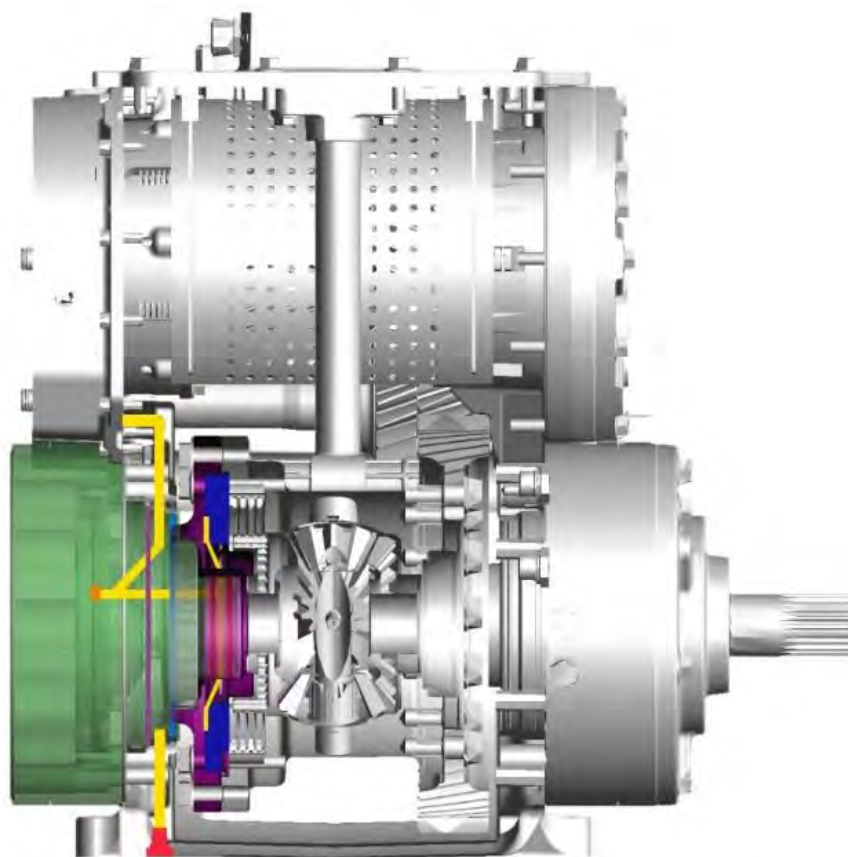


Figura 99: "Circuito de actuación para el bloqueo de diferencial"

Para la realización de la prueba se activa la válvula “VS-5”. La bomba principal del banco envía aceite al circuito hasta alcanzar los 20 bares de presión. Una vez alcanza dicha consigna se mide la presión y el caudal del sistema durante diez segundos. Si ambos parámetros se mantienen dentro de los límites establecidos, entonces la transmisión se considera correcta en este test. Si por el contrario, algún valor se encuentra fuera de los límites, o no se alcanzan las consignas de trabajo, la transmisión se considera defectuosa.

Los siguientes gráficos recogen los resultados de presión y caudal correspondientes a una transmisión correcta.

- **Presión:** Una vez alcanzada la presión de trabajo de 20 bares se toman datos durante 10 segundos. La presión de trabajo debe de encontrarse entre los límites de 20 ± 2 bares. Para el caso presentado, los datos se toman cada segundo, aunque la frecuencia de control puede modificarse para una mayor exactitud. La siguiente gráfica (figura 100) ilustra la evolución de la presión para una transmisión correcta.

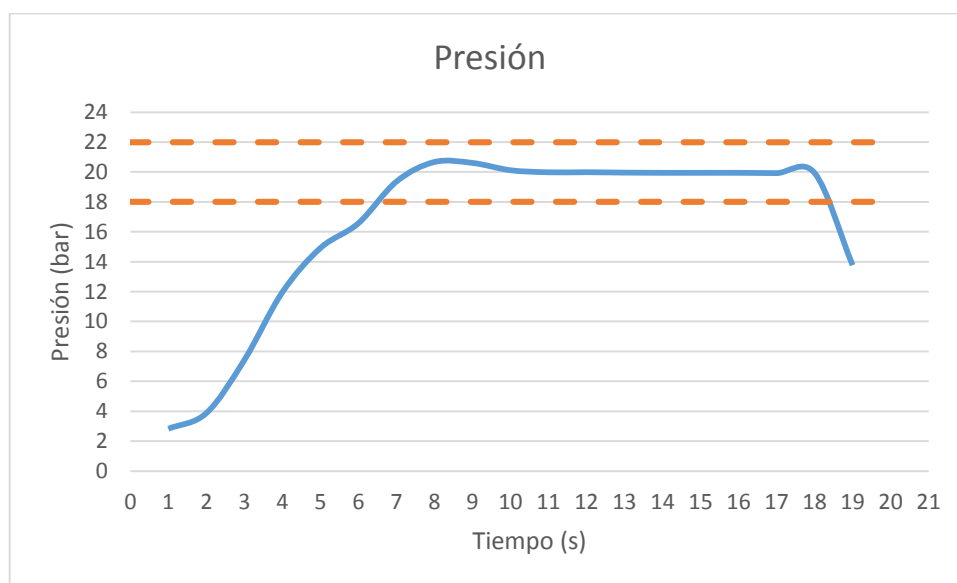


Figura 100: “Resultado de presión para la prueba de fugas de diferencial”

- **Caudal:** una vez alcanzada la consigna de trabajo de 20 bares se controlan los valores de caudal, los cuales deben encontrarse por debajo de 1,5 l/min. La figura 101 muestra los resultados de caudal para una transmisión correcta.

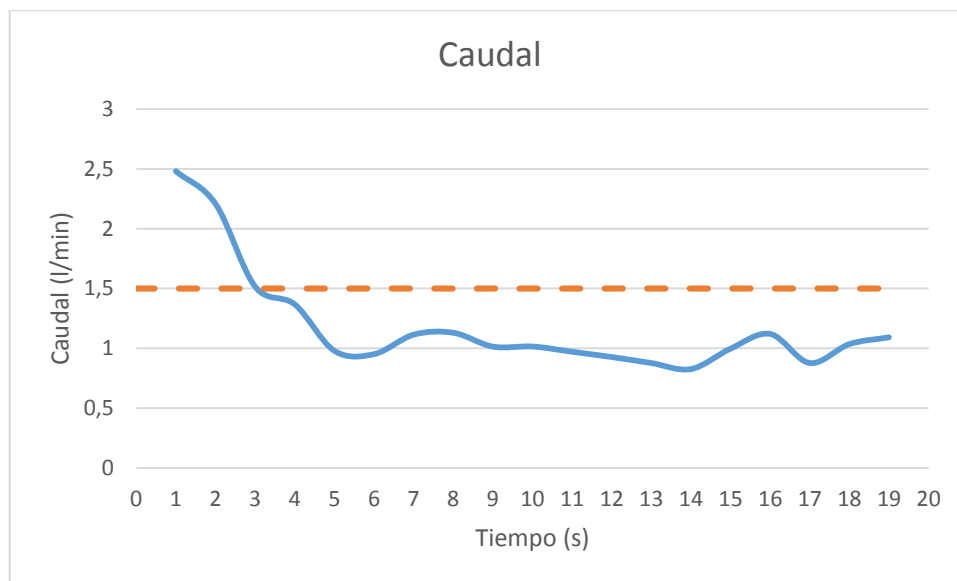


Figura 101: "Resultado de caudal para la prueba de fugas de diferencial"

La prueba se puede repetir hasta un máximo de tres veces. En caso de que la transmisión no supere el ensayo se envía al puesto de reproceso sin finalizar el montaje del puesto 6.

A continuación se presenta el diagrama de causa efecto; para mayor claridad se presenta la matriz de consolidación del análisis de causas (ver tabla 10). Posteriormente se presentan gráficamente los posibles elementos implicados en el circuito que pueden derivar en un fallo de la transmisión. Así mismo se valoran dichas causas en el AMFE y la realización del ensayo de modos de fallo en el banco hidráulico.

Tabla 10: "Matriz de consolidación causa-efecto para el modo de fallo de fugas de diferencial"

EFECTO FUGAS EN DIFERENCIAL					
CAUSAS					
No.	MANO DE OBRA	MATERIALES	MEDICIÓN	MAQUINARIA	PROCESO
1	Capacitación	Tapa C.V.	Límites fuera de especificación	Fuga en banco de pruebas	Asentamiento Transportador
2	No sigue el proceso	Transportador	Pruebas erróneas	Conectores mal	Posicionado de segmentos
3	Daño en proceso de montaje	Segmentos	Suciedad en circuitos	Cuerpo de Válvulas esclavo	Transportador esclavo
4	No usa sistemas de control de calidad	Carcasa	Temperatura aceite	Software	Falta Poka-Yoke
5		Tóricas de estanqueidad		Tóricas CV esclavo	Montaje tóricas estanqueidad
6		Tapón Transportador		Avería	
7		Diferencial		Útiles desgastados	

Elementos del circuito:

La figura 102 muestra de forma detallada el circuito de activación para el bloqueo del diferencial, indicando los elementos implicados en el mismo.

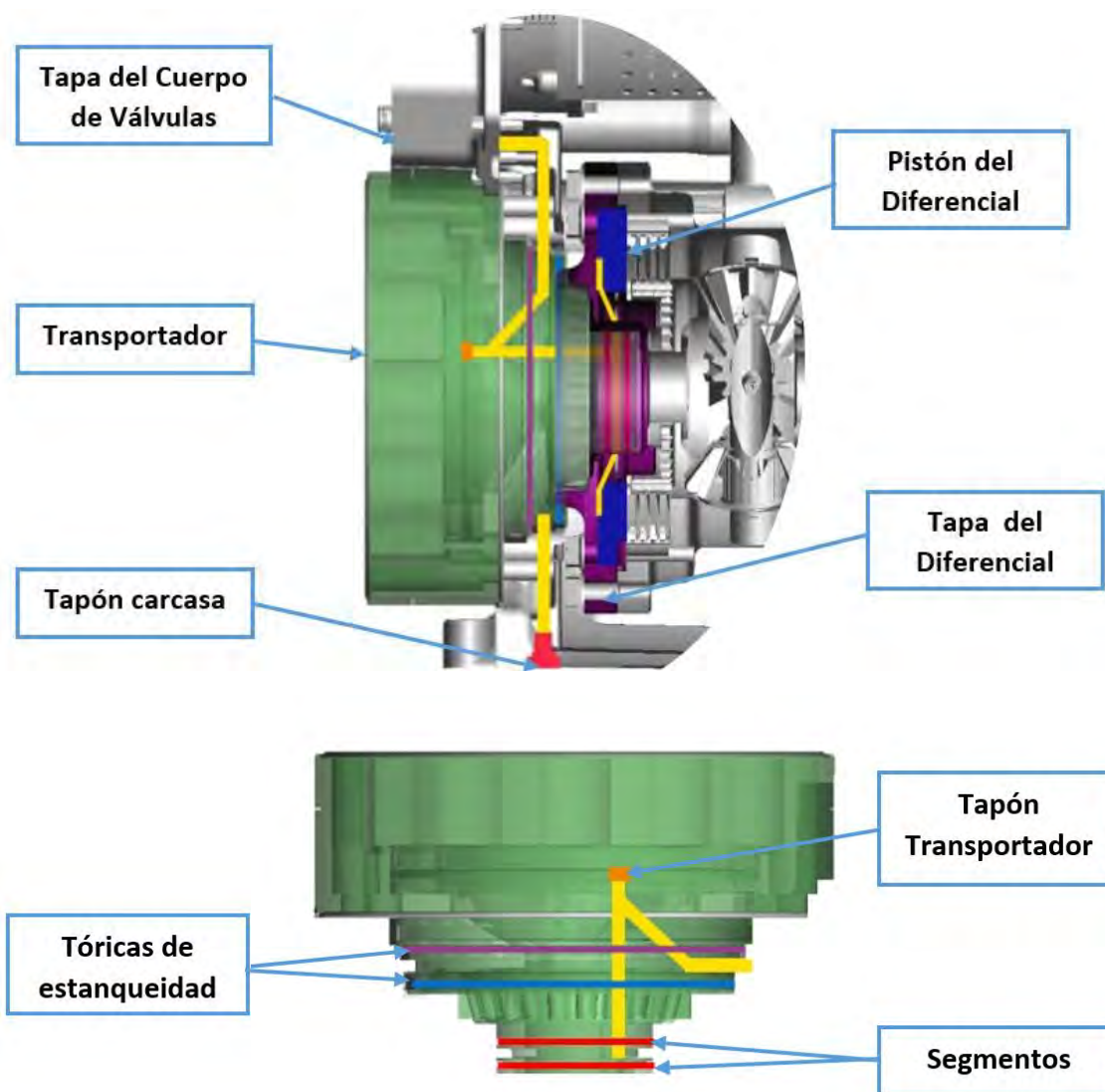


Figura 102: "Elementos implicados en el circuito de bloqueo de diferencial"

AMFE de proceso de los elementos implicados en fugas de diferencial:

Como se expuso en el apartado de metodología, se parte de la suposición de que el diseño es correcto y las todas las piezas o materiales empleados son correctos y se encuentran dentro de especificaciones. Para el caso concreto de fugas de diferencial, tanto el pistón como la tapa se consideran correctos ya que el diferencial ha sido ensayado previamente en el banco de premontaje. Por otro lado, y en base a las suposiciones de partida, se considera que tanto la carcasa de la transmisión como la tapa del cuerpo de válvulas no presentan fallos.

El análisis modal de fallos y efectos se realiza para todas las operaciones del proceso de montaje de la transmisión. A continuación se exponen los resultados de los elementos implicados en el circuito de activación del bloqueo del diferencial (tabla 11).

Tabla 11: "AMFE de proceso para la situación de partida de los elementos implicados en fugas de diferencial"

Operación	Modo Potencial de Fallo	Efecto Potencial de Fallo	SEV	Causa Potencial de Fallo	OCU	Controles Actuales		DET	NPR	Prioridad
						Prevención	Detección			
Montaje Juntas	No se monta	Pérdida de aceite y fallo en el bloqueo del diferencial	7	Proceso Inconsistente	5		Auditoria de Producto	9	315	Alta
	Daño en montaje	Pérdida de aceite y fallo en el bloqueo del diferencial	6	Proceso Inconsistente	7		Auditoria de Producto	9	378	Alta
Segmentos	No se montan	Pérdida de aceite y fallo en el bloqueo del diferencial	7	Proceso Inconsistente	1	Poka-Yoke	Auditoria de Producto	3	21	Medio
	Daño en montaje	Pérdida de aceite y fallo en el bloqueo del diferencial	6	Proceso Inconsistente	4		Auditoria de Producto	9	216	Alta
Transportador	Daño en montaje	Pérdida de aceite y fallo en el bloqueo del diferencial	6	Proceso Inconsistente	3		Auditoria de Producto	9	162	Alta
Tapón Transportador	No se monta	Pérdida de aceite y fallo en el bloqueo del diferencial	7	Proceso Inconsistente	2	Poka-Yoke	Auditoria de Producto	3	42	Medio
	Daño en montaje	Pérdida de aceite y fallo en el bloqueo del diferencial	6	Proceso Inconsistente	2		Auditoria de Producto	3	36	Bajo

A continuación se procede a realizar los modos de fallo en el banco hidráulico para comprobar la detección de las posibles causas de fallo (tabla 12):

Tabla 12: “AMFE de proceso para la situación final de los elementos implicados en fugas de diferencial”

OPERACIÓN	Modo Potencial de Fallo	Resultado de las acciones						
		Acción	Descripción	SEV	OCU	DET	NPRR	Prioridad
Montaje Juntas	No se monta	Ensayo en Banco	Se detecta en banco	7	5	5	175	Alta
	Daño en montaje	Ensayo en Banco	Se detecta en banco	6	7	5	210	Alta
Segmentos	Daño en montaje	Ensayo en Banco	Se detecta en banco	6	4	5	120	Alta
Transportador	Daño en montaje	Ensayo en Banco	Se detecta en banco	6	3	5	90	Medio

Todos los fallos se detectan en la prueba de fuga de diferencial. Es necesario implantar una serie de medidas para reducir la ocurrencia de los posibles modos de fallo.

Acciones de mejora:

- Instalar un volteador en el puesto de montaje del transportador. Dicho volteador tiene la función de facilitar el montaje de las juntas tóricas de estanqueidad. A su vez permite realizar un chequeo visual de los segmentos y el transportador (figura 103).

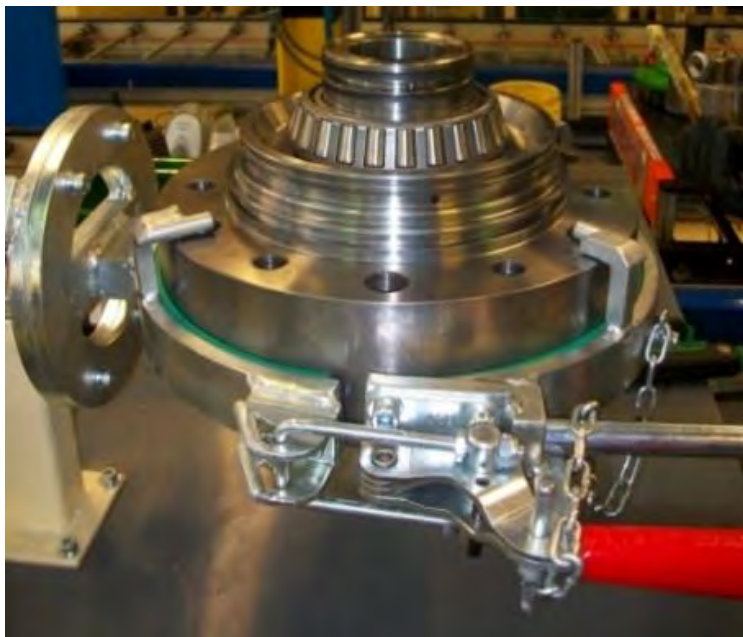


Figura 103: “Volteador para la instalación de las juntas tóricas de estanqueidad”

- Se sitúa un aviso de calidad tanto en las hojas de datos mecánicos de montaje como en el puesto. Estos avisos sirven de recordatorio para el montaje de las juntas, el orden de las mismas y las referencias identificativas.
- En la mesa de trabajo del puesto 1, donde se montan las juntas, se instalan tres bines correctamente referenciados donde se sitúan las juntas tóricas. Con ello se logra que el operario tenga más cerca del puesto el material, reduciendo el tiempo de manipulación, y asegurando el montaje de las juntas al encontrarse estas a la vista.
- Colocar cuatro guías de movimiento para el montaje del transportador. Las guías permiten centrar el transportador con respecto a la carcasa y el diferencial, evitando posibles golpes y daños tanto en el transportador como en los segmentos (figura 104).



Figura 104: "Guías para el montaje de los transportadores de freno"

- Se propone una posible modificación del transportador esclavo encargado de centrar y sostener el diferencial durante el montaje del transportador superior. La propuesta tiene objetivo asegurar que el diferencial y el transportador se encuentran correctamente centrados, evitando que las juntas y segmentos puedan dañarse.
- Se modifica el informe generado en el banco de pruebas hidráulicas. Durante el proceso de las transmisiones defectuosas se observa que los resultados de fallo pueden observarse durante la realización de las diferentes pruebas pero los resultados no quedan registrados. El nuevo informe registra los datos atípicos causantes del rechazo, eliminando así la necesidad de tener que acudir al registro de datos para su análisis. Este cambio supone un avance en el análisis de las transmisiones y permite al operario de reproceso conocer los valores registrados mediante el informe.

7.3.2. Fugas de aire

La prueba de fuga de aire se realiza en el puesto de pruebas hidráulicas previamente a la realización de los ensayos hidráulicos. El objetivo de la prueba de fuga de aire es comprobar la estanqueidad total de la transmisión, ya que posibles fugas pueden desencadenar fugas de aceite de la caja de cambios durante su vida en servicio, así como la entrada de elementos

externos y suciedad que puedan desencadenar procesos de corrosión o daños internos. Por lo tanto, con la prueba de fugas se comprueba que se han montado las juntas de estanqueidad correctamente, que no han sido dañadas dichas juntas y la unión entre los diferentes mecanismos es correcto.

A diferencia del resto de pruebas del banco hidráulico, el ensayo de fugas de aire no se produce a través de un circuito interno, sino que se introduce aire presurizado a través de la tapa frontal. Antes de comenzar la prueba, se asegura la estanqueidad de los diferentes racores de la transmisión posicionando unos tapones atornillados en cada uno que impiden la salida de aire; también se posiciona una tapa hermética en el freno de estacionamiento para asegurar la correcta estanqueidad del sistema, tal y como puede observarse en la figura 105.



Figura 105: “Elementos de estanqueidad para prueba de fugas de aire”

Una vez situados los elementos anteriormente descritos, se atornilla el mecanismo de entrada de aire a la tapa frontal, el cual está conectado a un microfugómetro (ver figura 106) que mide la pérdida de presión en el sistema. Para el ensayo se introduce aire hasta alcanzar los 20 bares de presión y se mide la variación de la misma durante un periodo 30 segundos. El resultado de la prueba es correcto si, una vez alcanzada y estabilizada la presión de trabajo, la pérdida de presión durante los 30 segundos del ensayo es inferior a 2 bares. Al igual que el resto de ensayos, los resultados de la prueba quedan registrados en el informe de trazabilidad de la correspondiente transmisión testada.



Figura 106: “Microfugómetro para la prueba de fugas de aire”

Como se ha indicado anteriormente, a diferencia del resto de pruebas, el ensayo de fugas de aire no implica la comprobación de un circuito cerrado de activación y los elementos

implicados en el rechazo de la transmisión pueden ser múltiples. A continuación se detalla la matriz consolidada de causa efecto de forma genérica para las posibles causas que pueden llevar a una fuga de aire (ver tabla 13):

Tabla 13: “Matriz de consolidación causa-efecto para el modo de fallo de fugas de aire”

EFEECTO	FUGAS DE AIRE				
CAUSAS					
No.	MANO DE OBRA	MATERIALES	MEDICIÓN	MAQUINARIA	PROCESO
1	Capacitación	Poros	Límites fuera de especificación	Fuga en conector	Exceso/falta de adhesivo
2	No sigue el proceso	Errores de mecanizado	Calibración	Avería microfugómetro	Colocación de tapones estancos
3	Daño en proceso de montaje	Fuera de especificación		Tapones dañados	Asentamiento sobre juntas
4	No usa sistemas de control de calidad			Tapa freno estacionamiento	Falta de Poka-Yoke
5				Útiles deteriorados	Montaje juntas/tóricas

Para cada modo de fuga de aire se realiza un diagrama de Ishikawa, con el fin de determinar los posibles fallos implicados. Las posibles causas de fuga para las uniones anteriormente descritas pueden variar y es importante establecer las variaciones de material y proceso entre cada una de ellas.

Elementos implicados

Las posibles fugas de aire pueden producirse si los siguientes elementos están dañados o se encuentran fuera de especificación:

- Carcasa
- Transportadores
- Frenos de estacionamiento
- Tapa frontal
- Tapa del cuerpo de válvulas
- Frenos de servicio

También pueden producirse entre las uniones de dichos elementos, donde se suele situar algún sistema de estanqueidad, como juntas o sellantes. La tabla 14 recoge las principales uniones y elementos de estanqueidad:

Tabla 14: “Principales uniones y elementos de la estanqueidad de la transmisión”

Elementos en contacto	Sistema de estanqueidad
Unión transportador/carcasa	Junta tórica en mecanizado de la carcasa
Unión transportador/freno	Junta tórica en mecanizado de la carcasa
Unión tapa frontal/carcasa	Cordón de silicona/junta adhesiva
Unión tapa C.V./carcasa	Junta metálica
Unión freno de estacionamiento/carcasa	Junta metálica
Unión tapa/carcasa de freno de estacionamiento	Junta tórica

AMFE de proceso de los elementos implicados en fugas de aire:

A continuación se detallan los resultados del análisis modal de fallos y efectos para el proceso de montaje de los principales elementos implicados en la estanqueidad de aire de la transmisión, los cuales se encuentran recogidos en la tabla 15. No se consideran posibles fallos de los conjuntos a unir ya que se parte de la suposición de que el material empleado cumple con las especificaciones de diseño. También se desestima la junta plástica situada entre el cuerpo de válvulas y la tapa donde se fija, debido a que su montaje se realiza en el puesto siguiente a la prueba de fugas; en caso de un fallo de la unión entre ambos elementos se detectaría en el banco de rodadura ya que la junta no proporciona estanqueidad de aire sino del circuito de actuación.

En este caso, aunque se realizan los modos de fallo para comprobar el efecto de cada posible causa de fallo sobre la transmisión y la detección en banco, se parte de la detección por el microfugómetro, ya comprobada en el modelo anterior DE20902. Como se puede comprobar en el AMFE de las posibles causas de fallo de fuga de aire, ninguna acción tiene una prioridad alta debido a que, dado que las posibles causas de fallo son muy variadas, el índice de ocurrencia es bajo para cada una de ellas.

Tabla 15: “AMFE de proceso de los elementos implicados en fugas de aire”

Operación	Modo Potencial de Fallo	Efecto Potencial de Fallo	SEV	Causa Potencial de Fallo	OCU	Prevención	Detección	DET	NPR	Prioridad
Junta transportador carcasa	No se monta	Posibles fugas de aceite y disminución de la vida de la caja	6	Proceso inconsistente	1		Auditoria de producto. Prueba de fugas	5	30	Medio
	Se monta dañada	Posibles fugas de aceite y disminución de la vida de la caja	6	Proceso inconsistente	2		Auditoria de producto. Prueba de fugas	5	60	Medio
Junta transportador freno	No se monta	Posibles fugas de aceite, disminución de la vida de la caja y capacidad de frenada	7	Proceso inconsistente	1		Auditoria de producto. Prueba de fugas	5	35	Medio
	Se monta dañada	Posibles fugas de aceite, disminución de la vida de la caja y capacidad de frenada	6	Proceso inconsistente	2		Auditoria de producto. Prueba de fugas	5	60	Medio
Montaje tapa frontal	No se aplica sellador	Fugas de aceite y disminución de la vida de la caja	7	Proceso inconsistente	1		Auditoria de producto. Prueba de fugas	5	35	Medio
	Aplicación incorrecta	Posibles fugas de aceite y disminución de la vida de la caja	6	Proceso inconsistente	2		Auditoria de producto. Prueba de fugas	5	60	Medio
Junta tapa CV/carcasa	No se monta	Posibles fugas de aceite y disminución de la vida de la caja	7	Proceso inconsistente	1		Auditoria de producto. Prueba de fugas	5	35	Medio
	Se monta dañada	Posibles fugas de aceite y disminución de la vida de la caja	5	Proceso inconsistente	1		Auditoria de producto. Prueba de fugas	5	25	Medio
Junta freno de estacionamiento carcasa	No se monta	Posibles fugas de aceite, disminución de la vida de la caja y defecto desactivación freno	8	Proceso inconsistente	2		Auditoria de producto. Prueba de fugas	3	48	Medio
	Se monta dañada	Posibles fugas de aceite, disminución de la vida de la caja y defecto desactivación freno	7	Proceso inconsistente	1		Auditoria de producto. Prueba de fugas	3	21	Medio
Junta tapa carcasa freno de estacionamiento	No se monta	Posibles fugas de aceite y disminución de la vida de la caja	7	Proceso inconsistente	1		Auditoria de producto. Prueba de fugas. Reglaje puesto 4	4	28	Medio
	Se monta dañada	Posibles fugas de aceite y disminución de la vida de la caja	6	Proceso inconsistente	2		Auditoria de producto. Prueba de fugas. Prueba de reglaje	4	48	Medio

Acciones de mejora:

Dado que los fallos debidos a fugas de aire son variados (ver figura 107) y no afectan a un circuito funcional concreto de la transmisión, se realiza un estudio sobre las transmisiones que han presentado este tipo de fallo en la línea de montaje obteniéndose los siguientes resultados:

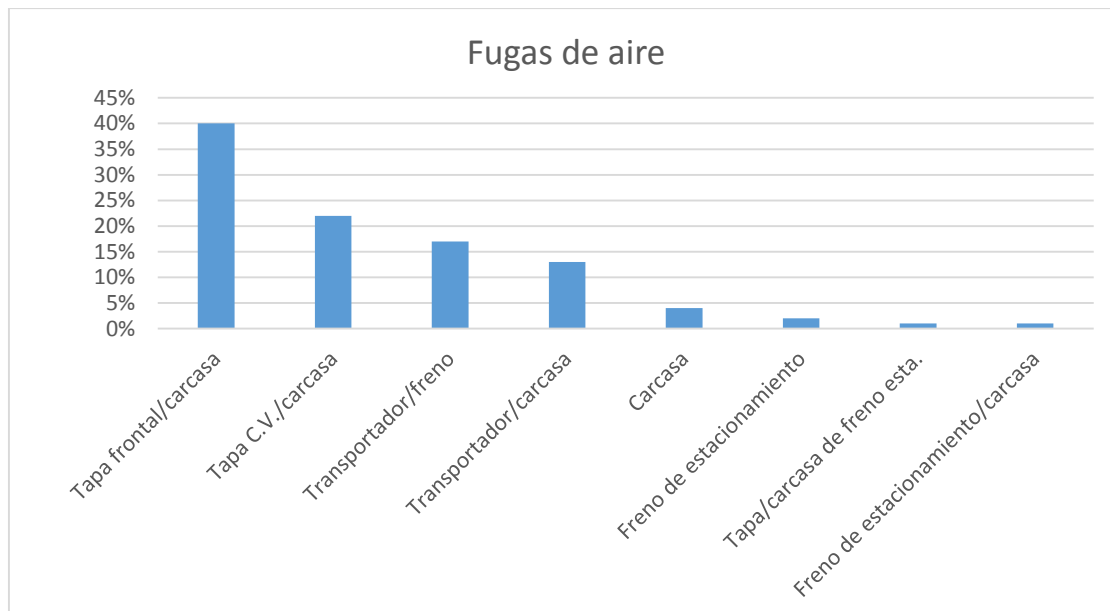


Figura 107: "Pareto de causas de fallos en prueba de fugas de aire"

Como puede observarse la principal causa de fallo de fuga de aire se produce en la unión entre la tapa frontal y la carcasa. Esta unión se realiza mediante un cordón de silicona que proporciona una junta adhesiva estanca. En las transmisiones reprocesadas se observa que el cordón es insuficiente o no presenta uniformidad en la aplicación del mismo, dando lugar a pequeños poros por donde se produce la fuga de aire. Para evitar este tipo de fallo se proponen las siguientes medidas:

- Se instala y regula un aplicador de silicona neumático que proporciona un cordón continuo y uniforme.
- Se estudia un posible cambio en el diseño de la tapa. El contacto plano entre las caras de la carcasa y la tapa frontal propicia que se produzcan fallos en la junta adhesiva al unir ambos elementos. Con esta geometría un exceso de silicona puede introducirse al interior de la transmisión taponando los pequeños circuitos de lubricación y actuación de la transmisión.
- Se estudian otros posibles mecanismos de junta que aseguren la estanqueidad entre ambos elementos.
- Se comprueba que las tapas frontales cumplen con las especificaciones de diseño.

La segunda causa de fuga de aire se encuentra entre la unión de la tapa donde se atornilla el cuerpo de válvulas y la carcasa. Entre ambos elementos se sitúa una junta metálica que asegura la estanqueidad de la unión. Durante el análisis de las transmisiones reprocesadas se observa que en todos los casos se encontraba correctamente montada dicha junta y no

presentaba daños visuales. Sin embargo se observa que la planitud de la pieza no es la correcta y el departamento de calidad junto con compras reportan el error al proveedor de dicha pieza para asegurar la calidad de los elementos en la línea.

En relación a las fugas entre el transportador y el premontaje del freno de servicio, se comprueba que la tórica de estanqueidad, la cual se monta en la estación 3 de la línea de montaje, aparece dañada o deteriorada. Este daño se debe al proceso de montaje, cuando se fija el freno al transportador y, por lo tanto, es un daño debido a la mano de obra. Con respecto al total de transmisiones montadas supone un 0,28%, por lo que para reducir la ocurrencia se propone:

- Revisar el proceso de montaje para asegurar que la tórica de estanqueidad no se dañe durante la secuencia de ensamblado.
- Se estudia el uso de posibles guías de centrado similares a las empleadas en el montaje de los transportadores sobre la carcasa.
- Se pone un aviso de calidad en las hojas de datos mecánicos situadas en el puesto.
- Se analiza si el mecanizado de fijación de las juntas tóricas de estanqueidad de los transportadores cumple con las especificaciones de plano.

7.3.3. Lubricación frenos de servicio

Este ensayo se realiza en el banco de pruebas hidráulicas. Su objetivo es comprobar el correcto funcionamiento del circuito de lubricación tanto del paquete de ferodos de los frenos de servicio, superior e inferior, como de los rodamientos de los transportadores sobre los que apoya el diferencial. Para ello se introduce aceite hasta alcanzar 3 bares de presión y se monitoriza el caudal necesario para mantener dicha presión.

El aceite se envía desde el cuerpo de válvulas a través de la tapa superior hasta la carcasa de la transmisión. La carcasa cuenta con un circuito mecanizado en su interior que dirige el aceite hacia los transportadores de ambos lados de la caja. Dentro de cada transportador, el aceite circula hacia los engrasadores, dos encargados de regular el fluido hacia los ferodos y discos de freno, y uno para asegurar la lubricación de los rodamientos. La estanqueidad entre la carcasa y los transportadores se asegura mediante dos juntas tóricas situadas a ambos lados de la entrada de aceite. El circuito se representa en la figura 108.

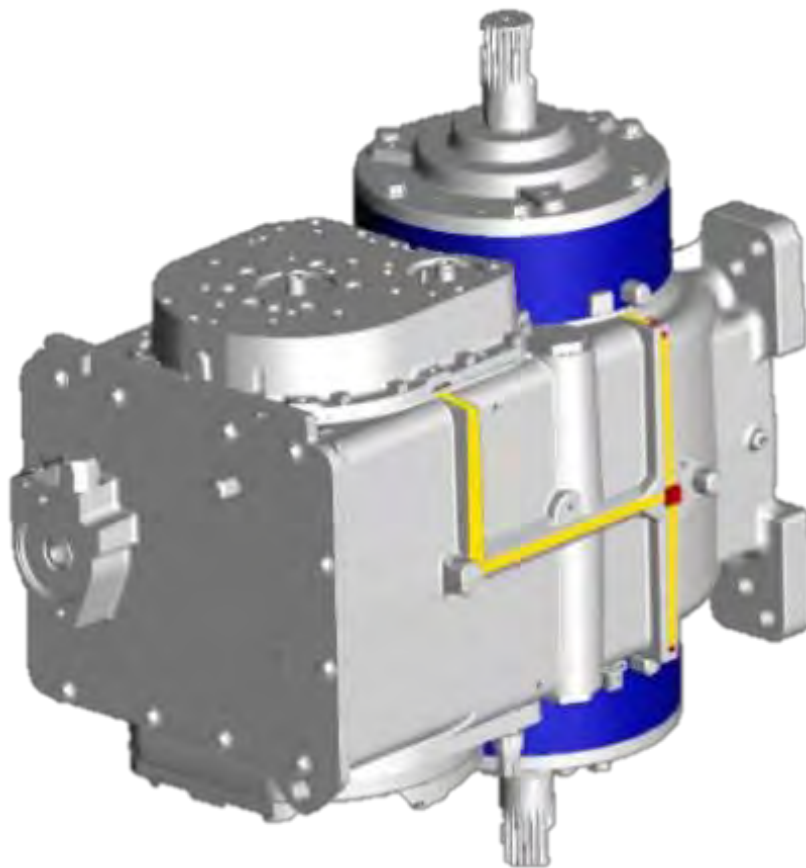


Figura 108: "Circuito de activación de la lubricación de los frenos de servicio"

El ensayo de lubricación comienza con la activación de la válvula "VS-7". El cuerpo de válvulas dirige el aceite bombeado por el banco hacia el circuito de lubricación, el cual termina en los engrasadores (conductos de pequeño diámetro). La bomba principal del banco regula el caudal de circulación hasta alcanzar los 3 bares de presión en el circuito. Una vez alcanzada la presión de trabajo se controlan los valores de presión y caudal durante 15 segundos. Si ambos parámetros permanecen durante el tiempo de ensayo entre los límites de diseño, entonces la transmisión supera el test adecuadamente. Si algún parámetro se sale de los límites puntualmente, no se alcanza la presión de consigna, o el caudal es superior o inferior al especificado para alcanzar dicha presión, la transmisión se considera como defectuosa y se retira para su reproceso. El ensayo puede repetirse hasta un máximo de tres veces para asegurar las condiciones óptimas de trabajo o el arrastre de suciedad en el circuito.

Los siguientes gráficos ilustran los valores de presión y caudal correspondientes a una transmisión que cumple las especificaciones de diseño.

- Presión: Una vez alcanzada la presión de trabajo de 3 bares se toman datos durante 15 segundos. La presión se mantiene en 3 bares mediante la variación del caudal de aceite. La figura 109 muestra la evolución de la presión en los resultados de una transmisión correcta en la prueba de lubricación de los frenos de servicio.

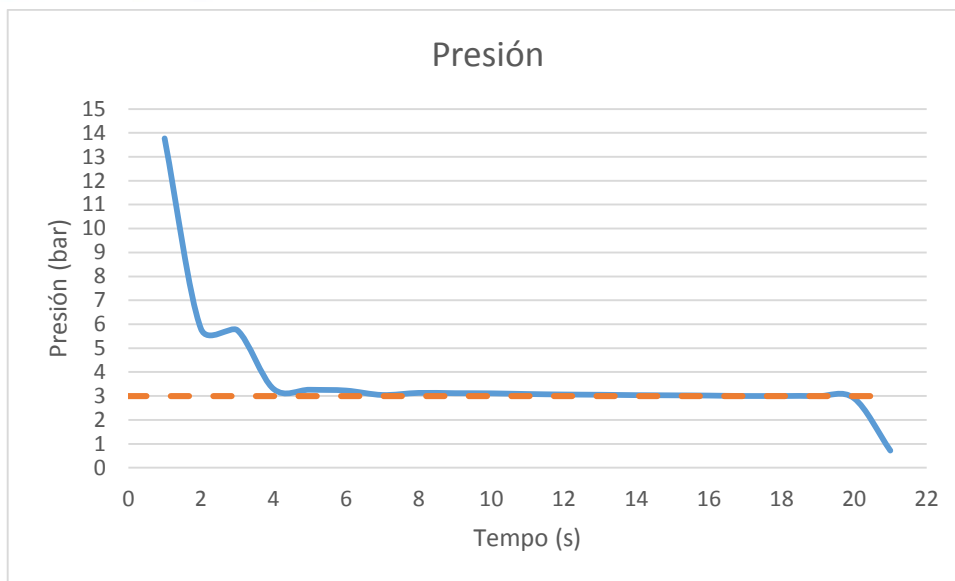


Figura 109: “Resultado de presión para la prueba de lubricación de frenos de servicio”

- **Caudal:** una vez alcanzada la presión de 3 bares se controlan los valores de caudal necesarios para mantener dicha presión. El caudal se debe mantener entre los límites $5,6 \pm 1,5$ l/min. La figura 110 ilustra los resultados de caudal para una transmisión correcta.

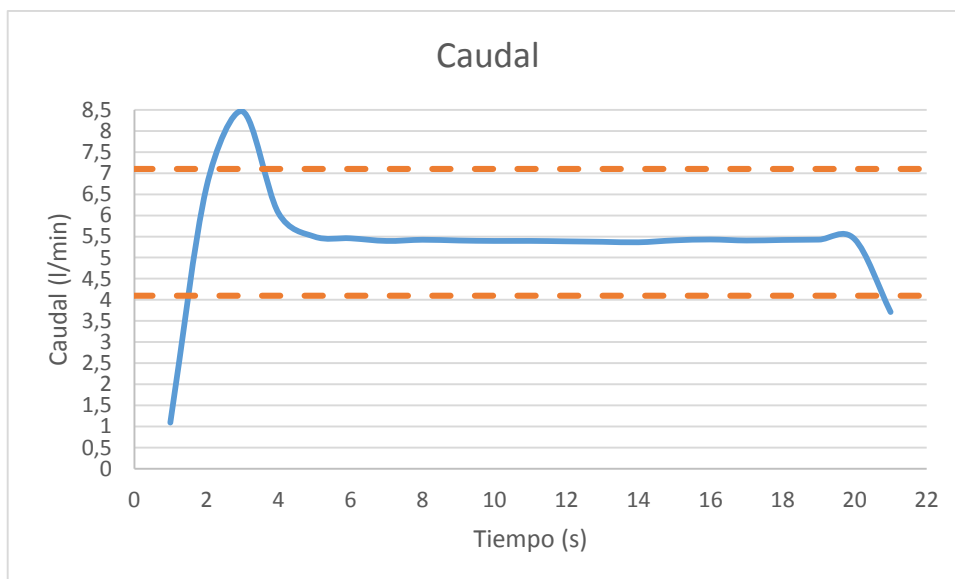


Figura 110: “Resultado de caudal para la prueba de lubricación de frenos de servicio”

El test de lubricación se puede repetir un máximo de tres veces. Al igual que el resto de ensayos hidráulicos, si la transmisión no supera el test se envía al puesto de reproceso, donde se procede a su reparación y análisis.

A continuación se presenta la matriz de causa efecto (ver tabla 16) para la posterior realización del diagrama de Ishikawa para el ensayo de “Lubricación de frenos de servicio”.

Tabla 16: “Matriz de consolidación causa-efecto para el modo de fallo de lubricación de los frenos de servicio”

EFECTO LUBRICACIÓN FRENOS DE SERVICIO					
CAUSAS					
No.	MANO DE OBRA	MATERIALES	MEDICIÓN	MAQUINARIA	PROCESO
1	Capacitación	Carcasa	Límites fuera de especificación	Fuga en banco de pruebas	Asentamiento Transportador Superior
2	No sigue el proceso	Tapa del cuerpo de válvulas	Pruebas erróneas	Conectores mal	Asentamiento Transportador Inferior
3	Daño en proceso de montaje	Transportador Inferior	Suciedad en circuitos	Cuerpo de Válvulas esclavo	Montaje engrasadores
4	No usa sistemas de control	Transportador Superior	Temperatura aceite	Software	Aplicación manual adhesivo
5		Tóricas T. superior		Tóricas CV esclavo	
6		Tóricas T. inferior		Avería	
7		Engrasadores T. superior		Útiles deteriorados	
8		Engrasadores T. Inferior			

Una vez conocido el circuito, la secuencia de prueba y las posibles causas de fallo, se valoran y analizan dichas causas con ayuda del AMFE y los ensayos en los bancos de prueba de la línea.

Elementos del circuito:

La figura 111 muestra el circuito de lubricación de los frenos de servicio de la transmisión. Se indican a su vez los elementos principales del sistema.

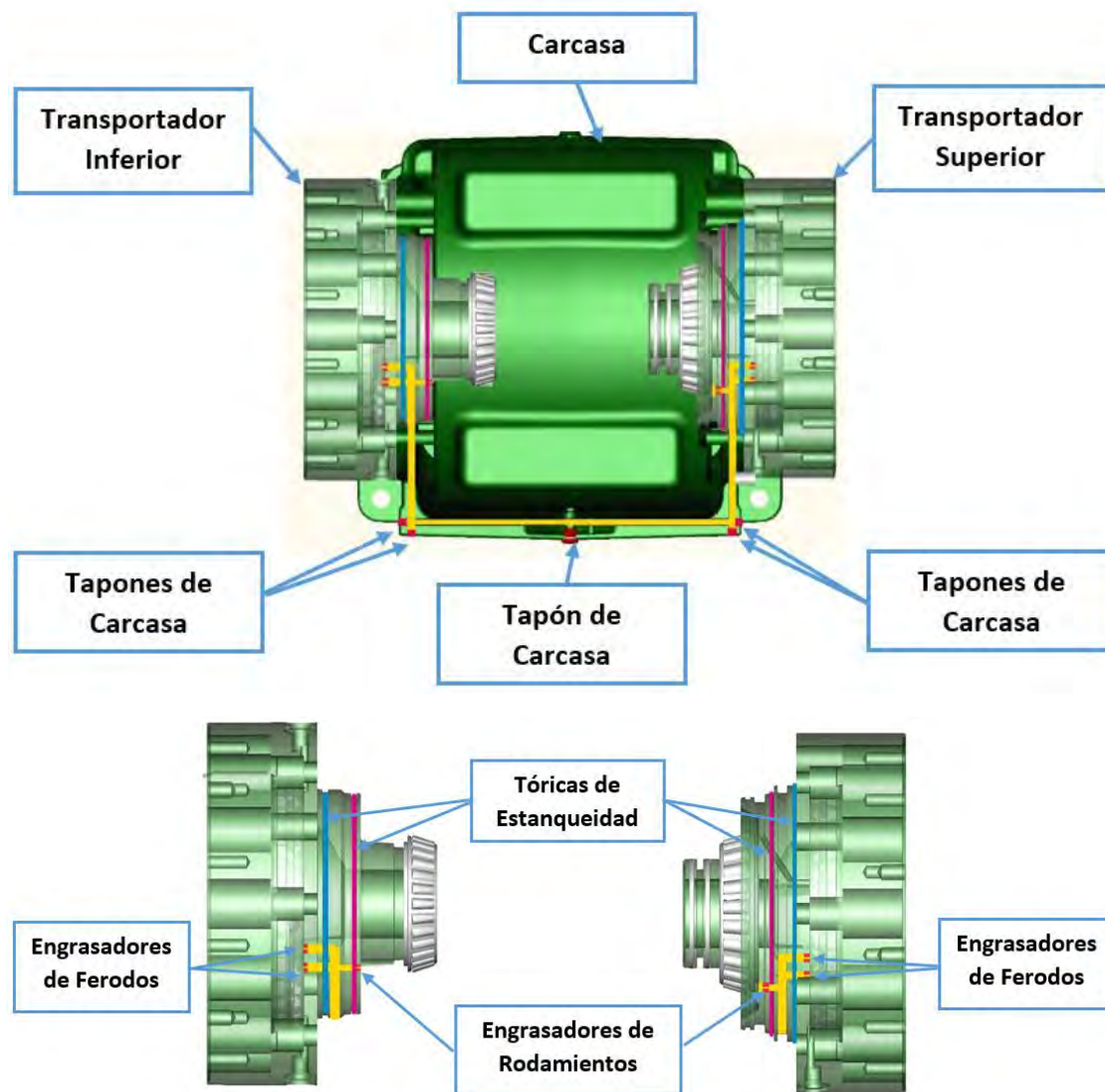


Figura 111: "Elementos implicados en el circuito de lubricación de los frenos de servicio"

AMFE de proceso de los elementos implicados en la lubricación de los frenos de servicio:

En el siguiente apartado se analizan los resultados del análisis modal de fallos y efectos para el proceso de montaje de los elementos que forman parte del circuito de lubricación de los frenos de servicio. Dado que se parte de la suposición de que el material empleado cumple los requerimientos, en este caso no se considera como posible causa de fallo ni la carcasa ni los diferentes tapones que cierran el circuito; de igual manera, se considera que los transportadores cumplen las especificaciones de diseño.

La tabla 17 presenta los resultados del análisis modal de fallos y efectos para los principales elemento implicados en la lubricación de los frenos de servicio de la transmisión:

Tabla 17: "AMFE de proceso para la situación de partida de los elementos implicados en lubricación de los frenos de servicio"

Operación	Modo Potencial de Fallo	Efecto Potencial de Fallo	SEV	Causa Potencial de Fallo	OCU	Controles Actuales		DET	NPR	Prioridad
						Prevención	Detección			
Montaje Engrasadores	No se montan	Perdida de aceite, disminución de la vida de la caja, disminución del rendimiento de los frenos	7	Proceso Inconsistente	1	Verificador	Auditoria de Producto.	9	63	Alta
	Daño en montaje	Perdida de aceite, disminución de la vida de la caja, disminución del rendimiento de los frenos	6	Proceso Inconsistente	1		Auditoria de Producto.	9	54	Alta
Montaje Tóricas	No se monta algún disco o ferodo	Perdida de aceite, disminución de la vida de la caja, disminución del rendimiento de los frenos	7	Proceso Inconsistente	2	Verificador	Auditoria de Producto.	9	126	Alta
	Daño en montaje	Perdida de aceite, disminución de la vida de la caja, disminución del rendimiento de los frenos	6	Proceso Inconsistente	4		Auditoria de Producto.	9	216	Alta

A continuación se procede a realizar el ensayo de modos de fallo en el banco hidráulico. Para ello se simulan las posibles causas y se ensaya la transmisión, midiendo posteriormente los resultados. La tabla 18 presenta los resultados del AMFE de proceso para los elementos implicados en la lubricación de los frenos de servicio una vez determinada la detección de los modos de fallo:

Tabla 18: “AMFE de proceso para la situación de final de los elementos implicados en lubricación de los frenos de servicio”

OPERACIÓN	Modo Potencial de Fallo	Resultado de las acciones						Prioridad R.
		Acción	Descripción	SEV	OCU	DET	NPRR	
Montaje Engrasadores	No se monta	Ensayo en Banco	Se detecta en banco	7	1	5	35	Medio
	Daño en montaje	Ensayo en Banco	Se detecta en banco	6	2	5	60	Medio
Montaje Tóricas	No se monta	Ensayo en Banco	Se detecta en banco	7	3	5	70	Medio
	Daño en montaje	Ensayo en Banco	Se detecta en banco	6	4	5	90	Medio

Todos los fallos se detectan en el banco. Sin embargo la prioridad de acción es alta y es necesario implantar una serie de acciones para reducir la ocurrencia de las causas de fallo derivadas del montaje de las tóricas de estanqueidad del circuito.

Acciones de mejora:

- Al igual que en el caso de fugas de diferencial, se instala un volteador en el puesto de montaje de la línea donde se montan los transportadores (puestos 1 y 2).
- Se sitúa un aviso de calidad tanto en las hojas de datos mecánicos de montaje como en el puesto.
- Se instala un volteador en el puesto de premontaje de los transportadores para asegurar la correcta instalación de los engrasadores.
- Se emplean cuatro guías de movimiento para el montaje del transportador en la carcasa para evitar posibles daños en las tóricas.
- Durante el análisis de las transmisiones defectuosas se detecta una variación de los resultados de las pruebas entre el banco de línea y el banco de reproceso. Tras estudiar los resultados de varias transmisiones ensayadas en ambos bancos se detecta que dicha variación en las pruebas se debe a una variación en la temperatura de trabajo del fluido hidráulico del banco.

7.3.4. Estanqueidad freno de aparcamiento

Como las pruebas presentadas hasta el momento, este ensayo se realiza en el banco de pruebas hidráulicas. Con este test se prueba la estanqueidad de circuito de desactivación del freno de estacionamiento, comprobando que se alcanza la presión requerida de trabajo y se cumplen las especificaciones de diseño.

El circuito de desactivación del freno de estacionamiento (figura 112) comienza en el cuerpo de válvulas, el cual dirige el aceite presurizado a través de la tapa del cuerpo de válvulas hasta la carcasa de la transmisión. Al igual que la lubricación de los frenos de servicio, la carcasa cuenta con un mecanizado interno, cerrado por cuatro tapones, que comunica con el freno de estacionamiento. El aceite pasa entonces de la carcasa al freno, el cual cuenta con un circuito interno, cerrado por dos tapones, y en el que se instala el sensor de presión del freno de estacionamiento. El fluido presurizado presiona el pistón contra las arandelas Belleville para liberar el freno. La estanqueidad del pistón se logra mediante dos juntas tóricas, mientras que la estanqueidad entre la carcasa y el freno de estacionamiento se consigue por una junta metálica situada entre ambos.

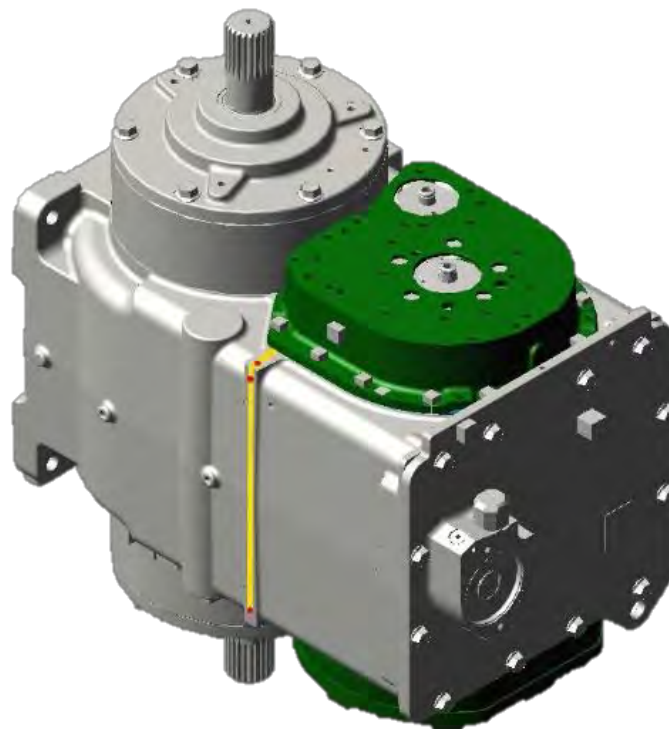


Figura 112: “Circuito de estanqueidad del freno de estacionamiento”

Para la realización del ensayo se activa la válvula “VS-8” del banco de pruebas. La bomba principal del banco impulsa el fluido hidráulico al freno de estacionamiento hasta alcanzar una presión de 27 bares. Cuando la presión se estabiliza se cierra el aporte de aceite y se mide la caída de presión en el circuito durante 30 segundos. Si la variación de presión es menor a 4 bares la transmisión se considera correcta y pasa al siguiente puesto para finalizar su montaje. En caso de que no se alcance la presión de 27 bares o la caída de presión sea mayor de 4 bares, la caja se considera defectuosa. Al igual que el resto de test, la prueba puede realizarse un máximo de tres veces por referencia.

El siguiente gráfico ilustra los valores de presión y caudal registrados para una transmisión que cumple los requisitos de funcionamiento.

- **Presión:** Una vez alcanzado los 27 bares en el circuito se mide la caída de presión, la cual no puede superar los 4 bares de diferencia. Por lo tanto durante los 30 segundos de ensayo la presión debe ser superior los 23 bares. La figura 113 representa la evolución de la presión en los resultados de una transmisión correcta en la prueba de estanqueidad del freno de estacionamiento.

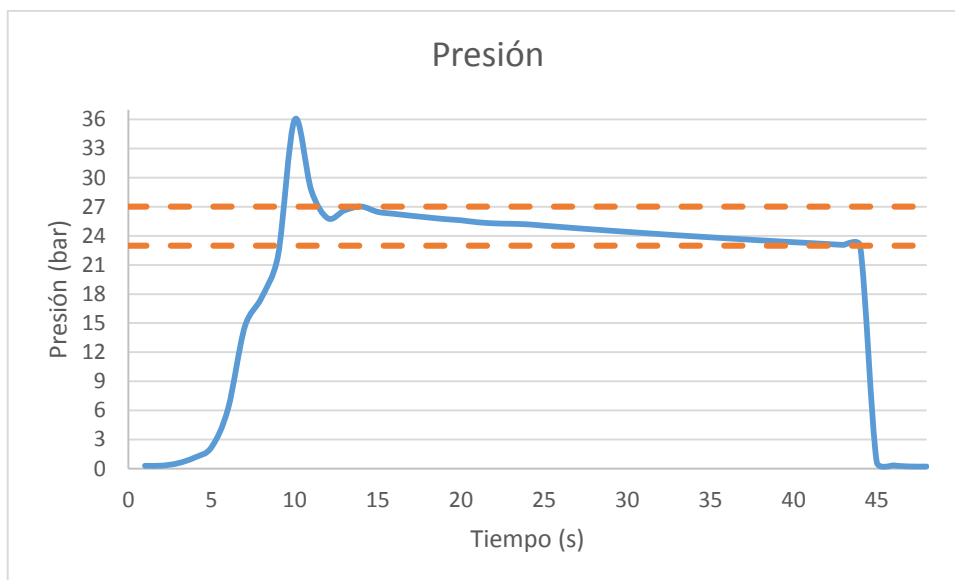


Figura 113: "Resultado de presión para la prueba de estanqueidad del freno de estacionamiento"

- **Caudal:** en este ensayo el caudal no está limitado por ningún parámetro. Como puede observarse en el gráfico, cuando se alcanza la presión de 27 bares se interrumpe el aporte de caudal de aceite al circuito de desactivación. El siguiente gráfico (figura 114) muestra la evolución de los valores de caudal para la prueba de estanqueidad de freno de estacionamiento.

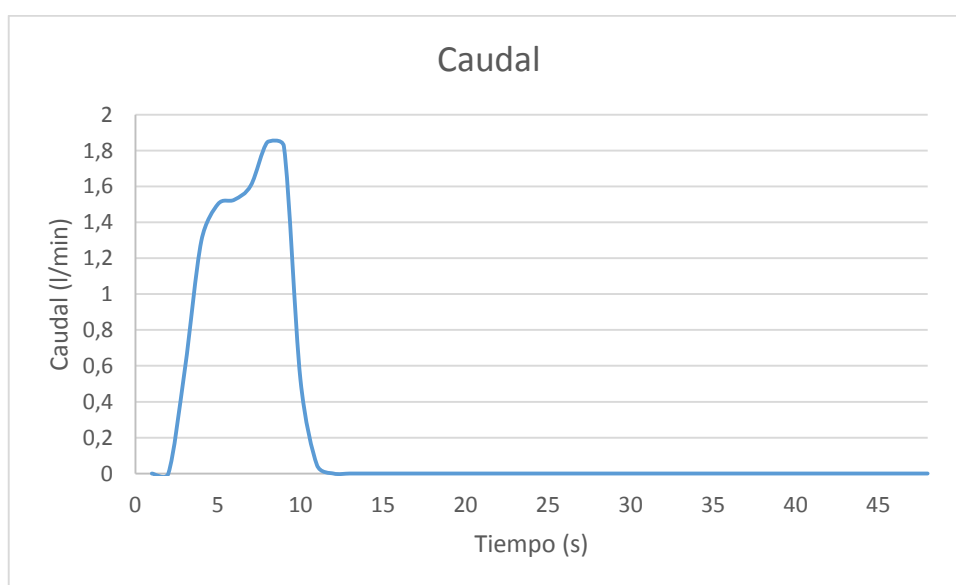


Figura 114: "Resultado de caudal para la prueba de estanqueidad del freno de estacionamiento"

Al igual que el resto de pruebas, el ensayo de estanqueidad de freno de aparcamiento se puede repetir un máximo de tres veces, si la caja de cambios no supera el ensayo se envía al puesto de reproceso, donde se procede a su reparación y análisis.

A continuación se presenta la matriz de causa-efecto para el ensayo de estanqueidad del freno de estacionamiento, recogidos en la tabla 19:

Tabla 19: "Matriz de consolidación causa-efecto para el modo de fallo de estanqueidad del freno de estacionamiento"

EFFECTO	ESTANQUEIDAD FRENO DE APARCAMIENTO				
CAUSAS					
No.	MANO DE OBRA	MATERIALES	MEDICIÓN	MAQUINARIA	PROCESO
1	Capacitación	Carcasa	Límites fuera de especificación	Fuga en banco de pruebas	Asentamiento freno de estacionamiento
2	No sigue el proceso	Tapa del cuerpo de válvulas	Pruebas erróneas	Conectores mal	Falta Poka-Yoke premontaje
3	Daño en proceso de montaje	Tapa freno de estacionamiento	Suciedad en circuitos	Cuerpo de Válvulas esclavo	Falta Poka-Yoke en línea
4	No usa sistemas de control de calidad	Carcasa freno de estacionamiento	Temperatura aceite	Software	Posicionamiento en prensa Bellevilles
5		Sensor de presión		Tóricas CV esclavo	Posicionamiento en prensa discos/ferodos
6		Pistón de accionamiento		Avería de banco	Asentamiento pistón con tóricas
7		Tóricas de estanqueidad pistón		Útiles deteriorados	Montaje tóricas estanqueidad
8		Conjunto discos/ferodos		Fuga en prensa	
9		Junta metálica de estanqueidad		Avería de prensa	
10				Fallo sensores de detección Bellevilles	
11				Fallo sensores de detección discos/ferodos	

A continuación se presentan los elementos implicados en el circuito de desactivación del freno de estacionamiento.

Elementos del circuito:

En la figura 115 se detalla el circuito completo de la desactivación del freno de estacionamiento, indicando los elementos implicados en la misma.

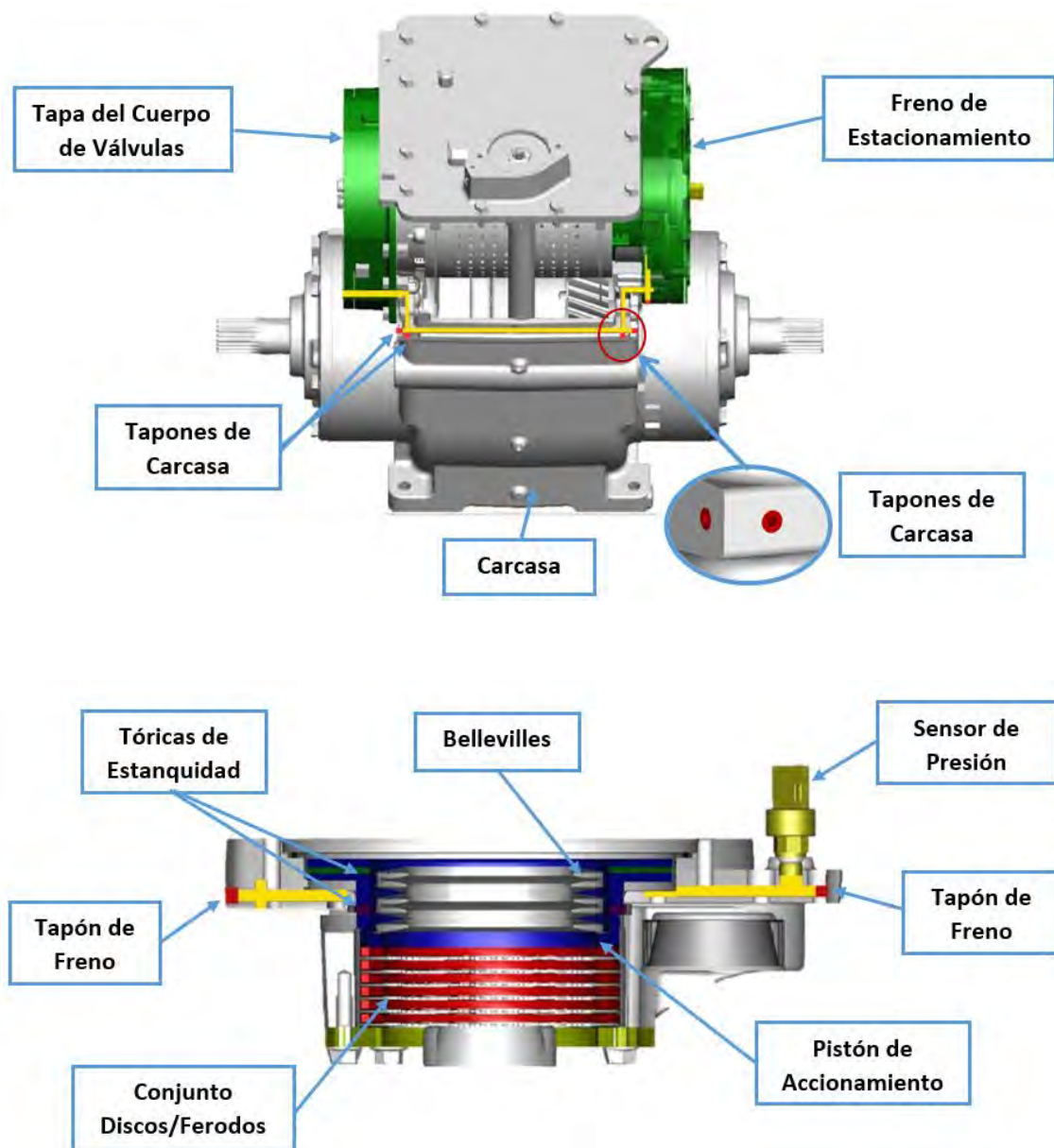


Figura 115: "Elementos implicados en el circuito de estanquidad del freno de estacionamiento"

AMFE de proceso de los elementos implicados en la estanquidad del freno de estacionamiento:

La tabla 20 recoge los resultados del AFE de proceso para los principales elementos implicados en el circuito de estanquidad del freno de aparcamiento:

Tabla 20: "AMFE de proceso para la situación de partida de los elementos implicados en la estanqueidad del freno de estacionamiento"

Operación	Modo Potencial de Fallo	Efecto Potencial de Fallo	SEV	Causa Potencial de Fallo	OCU	Prevención	Detección	DET	NPR	Prioridad
Montaje Belleville	No se montan	Fallo del freno de estacionamiento	9	Proceso Inconsistente	1	Verificador	Auditoria de Producto.	2	18	Medio
	Daño en montaje	Pérdida de capacidad de frenada	8	Proceso Inconsistente	1		Auditoria de Producto.	9	72	Alta
Montaje Discos Ferodos	No se monta algún disco o ferodo	Pérdida de capacidad de frenada	7	Proceso Inconsistente	2	Verificador	Auditoria de Producto.	2	28	Media
	Daño en montaje		6	Proceso Inconsistente	1		Auditoria de Producto.	9	54	Alta
Colocar Sensor de Presión	Par Bajo	Rotura o mayor alargamiento del deseado, reducción de vida de la caja	3	Proceso Inconsistente	2		Auditoria de Producto.	9	54	Medio
	Par Alto	Reducción vida de la caja	3	Proceso Inconsistente	2		Auditoria de Producto.	9	54	Medio
	No se da par	Reducción vida de la caja	3	Proceso Inconsistente	2		Auditoria de Producto.	9	54	Medio
Juntas Tóricas	No se montan	Fallo del freno de estacionamiento	7	Proceso Inconsistente	1		Auditoria de Producto.	6	41	Alta
	Daño en montaje		7	Proceso Inconsistente	1		Auditoria de Producto.	6	41	Alta
Junta freno de estacionamiento carcasa	No se monta	Posibles fugas de aceite, disminución de la vida de la caja y defecto desactivación freno	8	Proceso inconsistente	2		Auditoria de producto. Prueba de fugas	3	48	Medio
	Se monta dañada	Posibles fugas de aceite, disminución de la vida de la caja y defecto desactivación freno	7	Proceso inconsistente	1		Auditoria de producto. Prueba de fugas	3	21	Medio

La tabla 21 presenta los resultados del AMFE de proceso una vez realizados los modos de fallo en banco para la determinación de los índices de detección de cada causa de fallo:

Tabla 21: “AMFE de proceso para la situación final de los elementos implicados en la estanqueidad del freno de estacionamiento”

OPERACIÓN	Modo Potencial de Fallo	Resultado de las acciones						
		Acción	Descripción	SEV	OCU	DET	NPRR	Prioridad
Montaje Belleville	Daño en montaje	Ensayo en banco	Se detecta en banco	8	1	5	40	Medio
Montaje Discos Ferodos	Daño en montaje	Ensayo en banco	Se detecta en banco	6	1	5	30	Medio
Juntas Tóricas	No se montan	Ensayo en banco	Se detecta en banco	7	1	5	35	Medio
	Daño en montaje			7	1	5	35	Medio

Acciones de mejora:

- En los meses de febrero y marzo se detecta un aumento del número de transmisiones con este fallo. El análisis nos indica que no se había montado la junta de estanqueidad. Se incorpora un aviso de calidad en el puesto y en las hojas de datos mecánicos, y se estudia la posibilidad de incluir una validación en montaje para impedir el avance de una transmisión sin junta.
- El freno de estacionamiento no cuenta con banco de ensayos en la zona de premontajes, por lo que se ensambla sobre la transmisión sin haberse testado, a diferencia del eje de entrada o el diferencial que cuentan con un banco propio. Se propone el estudio de viabilidad para la instalación de un banco de pruebas del freno de estacionamiento ya que un fallo en el mismo puede conllevar el desguace completo de la transmisión.
- Durante el estudio de las transmisiones defectuosas se detecta un fallo en el banco de línea causante del 70% de las detecciones de banco. Se realiza un seguimiento de las transmisiones que no superan la prueba de estanqueidad de freno de estacionamiento y se comparan los resultados de las transmisiones en ambos bancos. Como puede observarse en el siguiente gráfico (figura 116), los resultados obtenidos para una misma transmisión varían en gran medida, presentando una gran pérdida de presión en el banco del puesto 5 de la línea de montaje. Se modifica el banco para que los ensayos sean idénticos y no existan disconformidades entre ambos.

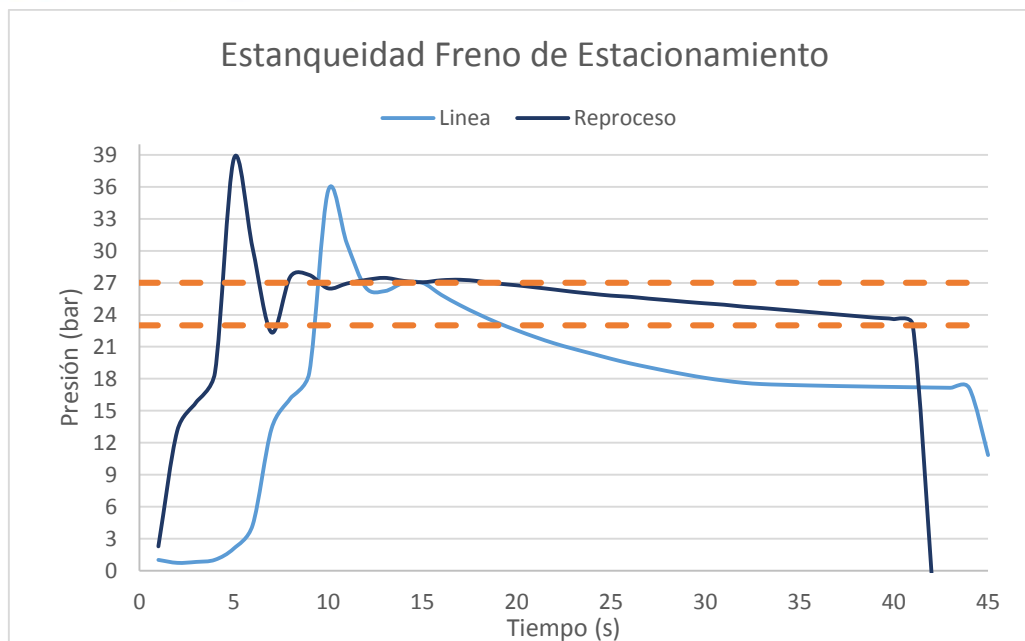


Figura 116: "Comparativa de los resultados de presión entre el banco de línea y reproceso"

7.4. Conclusiones de la mejora del proceso de montaje

Como se ha expuesto para los escenarios de cada modo de fallo, es necesario llevar a cabo un estudio y análisis diario de la producción y las transmisiones denegadas por algún defecto. Es imprescindible conocer dichas causas e implantar sistemas preventivos que ataquen el problema de raíz evitando que se produzcan de nuevo y mejorando así el proceso de ensamblado. Junto a la prevención se debe de asegurar la detección ya que el fin del proceso de mejora, junto con el aumento de la producción, es certificar la calidad del producto asegurando la satisfacción plena del cliente a coste competitivo.

A continuación se detalla la evolución de los diferentes modos de fallo a lo largo del estudio. Cada una de las gráficas ilustra la evolución porcentual de las transmisiones con dicho defecto con respecto de las transmisiones defectuosas y respecto del total de transmisiones montadas.

Fugas en Diferencial:

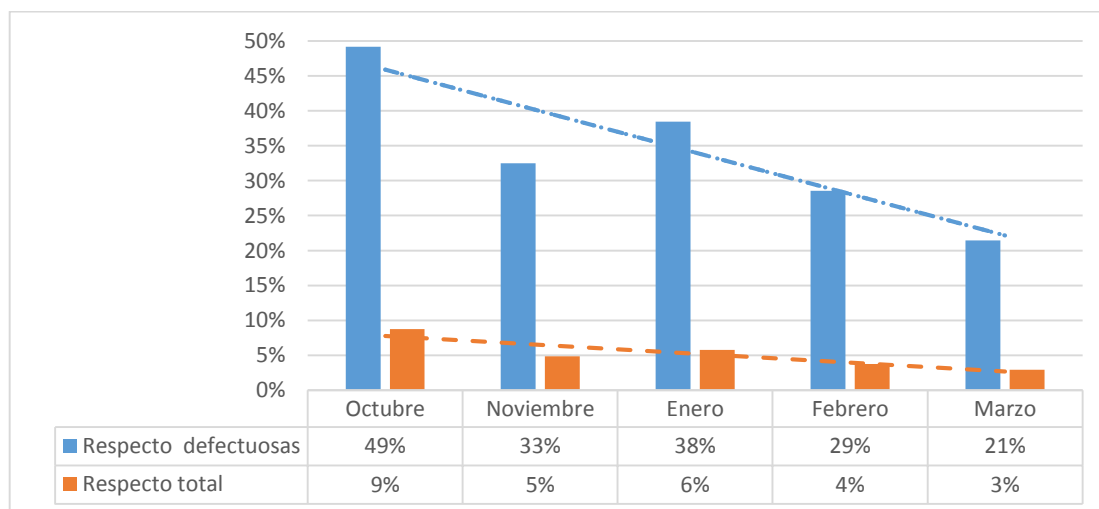


Figura 117: "Evolución mensual de transmisiones rechazadas por fugas de diferencial"

Como puede observarse en la figura 117 la evolución de las transmisiones defectuosas por fugas en diferencial muestran una tendencia a la baja con un leve incremento porcentual durante el mes de enero a pesar de las medidas preventivas y las mejoras llevadas a cabo. Esta variabilidad se debe a multitud de factores tanto controlables (operario, material, útiles, inspectores, temperatura, ajustes, etc.) como incontrolables (bajo condiciones ideales introducen variabilidad en el proceso y no tienen una causa asignable). A su vez, al finalizar el estudio las transmisiones defectuosas siguen siendo la principal causa de fallo, por lo que es necesario seguir mejorando el proceso.

Fugas de Aire

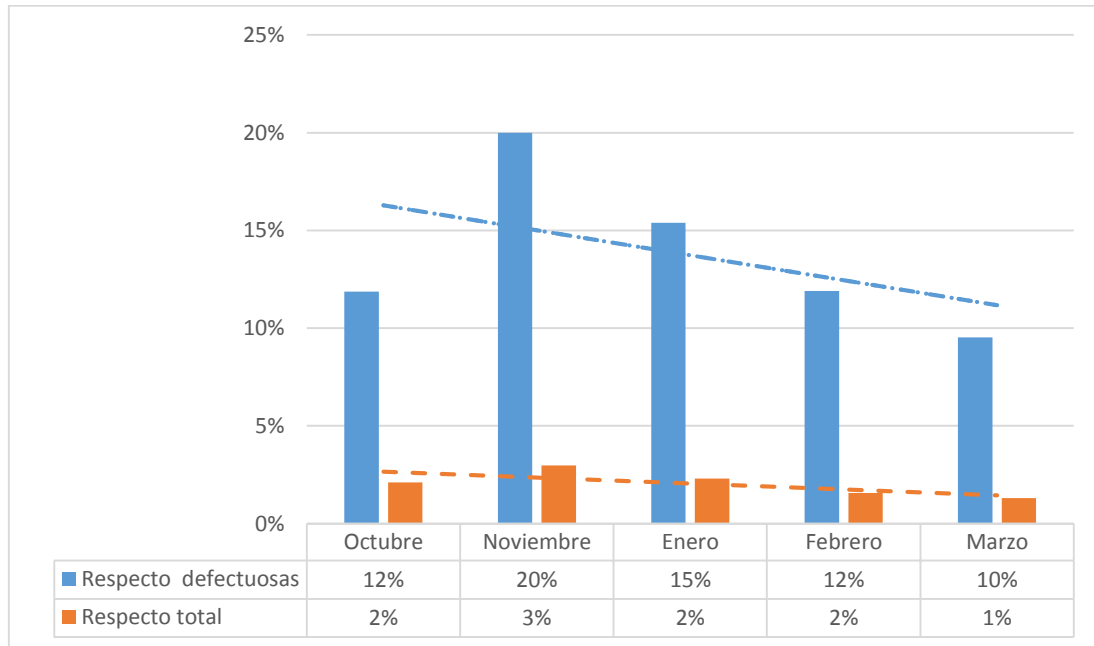


Figura 118: "Evolución mensual de transmisiones rechazadas por fugas de aire"

Como se ha visto anteriormente, las fugas de aire pueden darse entre las muy diversas partes que componen la transmisión. Este tipo de fallo presenta una gran variabilidad debido al amplio abanico de los elementos que pueden intervenir. A diferencia de otros modos de fallo cuyas causas pueden acotarse en un número de piezas o procesos, las fugas de aire pueden darse en todos los puestos de la línea haciendo que su prevención, estudio y seguimiento sea complejo, siendo su variabilidad muy elevada en comparación a otras causas de fallo, ya que fallos puntuales en un proceso o elemento pueden conllevar un aumento en las fugas. A pesar de ello, la tendencia de la muestra (ver figura 118) es negativa lo que indica que las medidas tomadas han mejorado el proceso. Cabe destacar que cuanto mayor sea la experiencia de los operarios en el proceso de ensamblado existirá una disminución de los errores debidos a la mano de obra.

Lubricación Frenos de Servicio:

La evolución de las transmisiones defectuosas por lubricación de los frenos de servicio (figura 119) presenta una tendencia favorable, lo que indica que las medidas tomadas han conllevado una disminución de las posibles causas de fallo. La modificación de los bancos para adaptarlos a los ensayos muestra un claro efecto entre los meses de octubre y noviembre, empero, se observa un crecimiento durante el mes de enero que tiende a la baja con el tiempo.

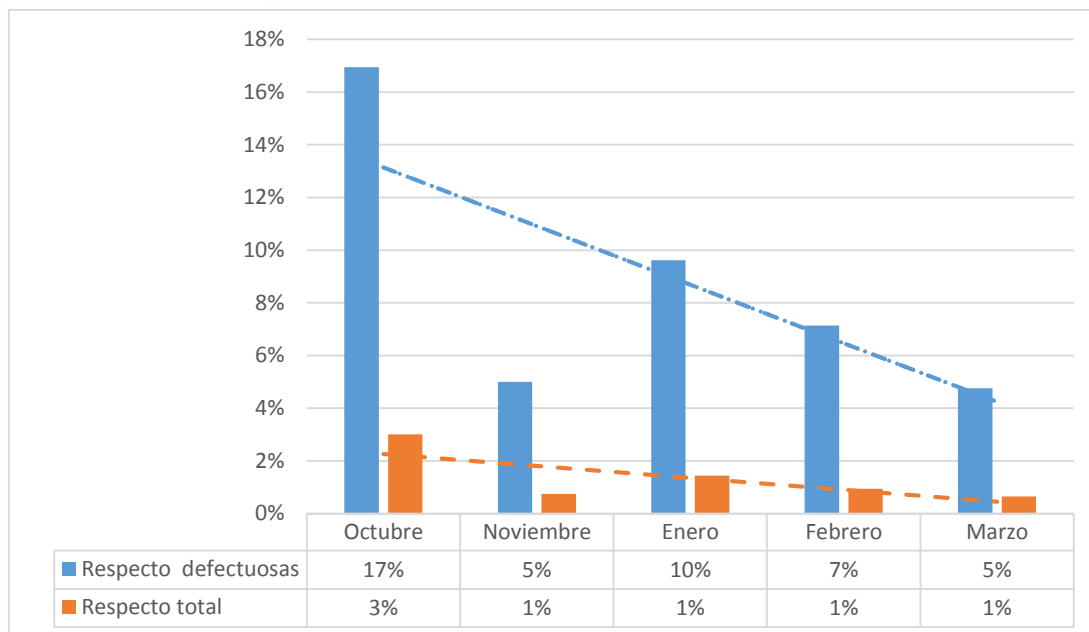


Figura 119: "Evolución mensual de transmisiones rechazadas por lubricación frenos de servicio"

Estanqueidad Freno de Aparcamiento:

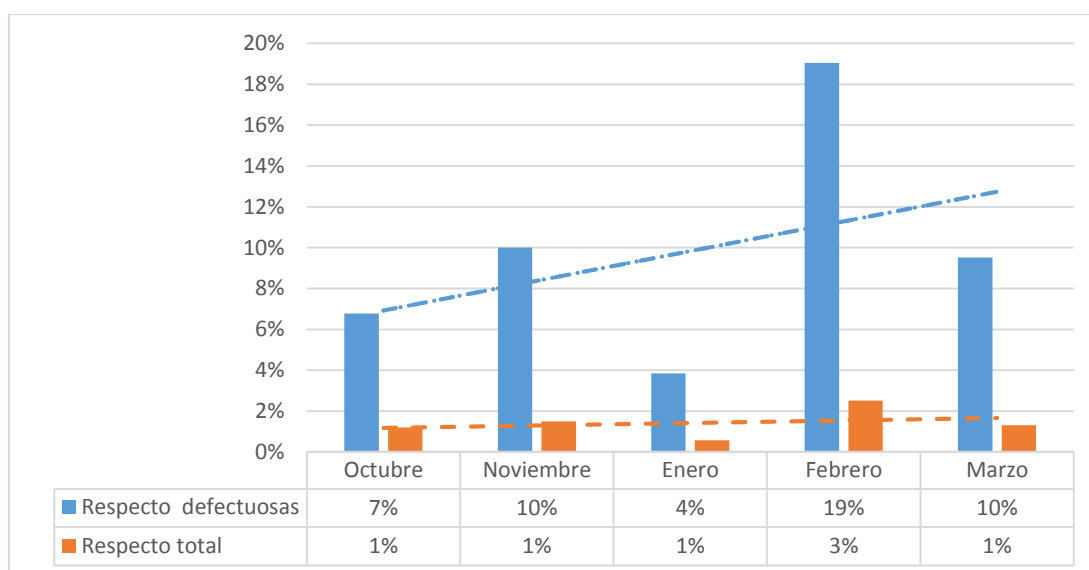


Figura 120: "Evolución mensual de transmisiones rechazadas por estanqueidad del freno de aparcamiento"

A pesar de la detección de los problemas de medición originados en el banco y las medidas de prevención llevadas a cabo, las transmisiones defectuosas por fallos en la prueba de estanqueidad (ver figura 120) del circuito de desactivación del freno de estacionamiento presentan una tendencia al alza. Por un lado, se eliminan los rechazos en banco por la funcionalidad del mismo, bajada que se observa entre los meses de noviembre y enero; por otro lado se incrementa en febrero los rechazos por este ensayo debido al incremento puntual durante el mes de febrero debido principalmente a un error en el montaje de la junta de estanqueidad. Este hecho nos indica que se debe de seguir trabajando para mejorar el proceso de producción y prevención.

Como se ha observado el proceso de mejora de montaje supone un trabajo constante, cíclico y sin fin, lo que conlleva una búsqueda continua de la perfección. La transmisión ProDrive es un mecanismo complejo con multitud de circuitos de pequeño diámetro, en la que intervienen un gran número de elementos, piezas y mecanismos. El proceso de ensamblado logra unir todos ellos en un único elemento funcional que debe trabajar a la perfección para asegurar que el cliente disfruta del producto, de forma segura y satisfactoria.

A pesar del seguimiento diario, de las medidas llevadas a cabo, del trabajo constante entre todos los departamentos implicados, de la colaboración entre operarios y supervisión, los resultados no siempre son los esperados, ni llevan a una respuesta satisfactoria y única. El control de producción y la mejora debe de llevarse diariamente a lo largo de toda la vida del producto y no finalizará hasta la retirada del mismo. Por lo tanto es necesaria una labor diaria y minuciosa con el fin de reducir las posibles causas de fallo, mejorar el proceso y la producción del producto; empero, día tras día surgen problemas y dificultades nuevas que deben estudiarse y analizarse en detalle, llevando un seguimiento de la evolución a lo largo del tiempo. Este trabajo de mejora y el seguimiento de posibles causas de fallo, ya sean por producto, proceso, material, averías o por error humano, deben de documentarse adecuadamente, ya que, en una factoría como la de John Deere Ibérica con gran número de líneas de ensamblado y centros de mecanizado, lo que supone una detección de posible error o una mejora de proceso puede aplicarse no solo a una línea sino al conjunto de todas ellas. La detección de una fuente de error en una cadena puede llevar a prevenir que dicho defecto se produzca en otros productos, y una mejora implantada para un proceso o puesto concreto puede extrapolarse a toda la factoría.

En relación a los datos cualitativos observados, se puede comprobar que no en todos los casos el trabajo realizado subsana por completo el problema, y que a veces pueden aparecer otras causas de fallo que estaban bajo control.

En cuanto a la eficiencia del proceso de montaje, como se expuso en el apartado de metodología, se analiza mediante el FPY (First Pass Yield) índice que indica la eficiencia de proceso de producción. En la figura 121 se observa la evolución de dicho indicador durante los meses de estudio; en el gráfico se puede comprobar una tendencia creciente lo que indica que los efectos de las medidas llevadas a cabo han tenido un impacto positivo en el proceso de ensamblado del nuevo modelo de transmisión.

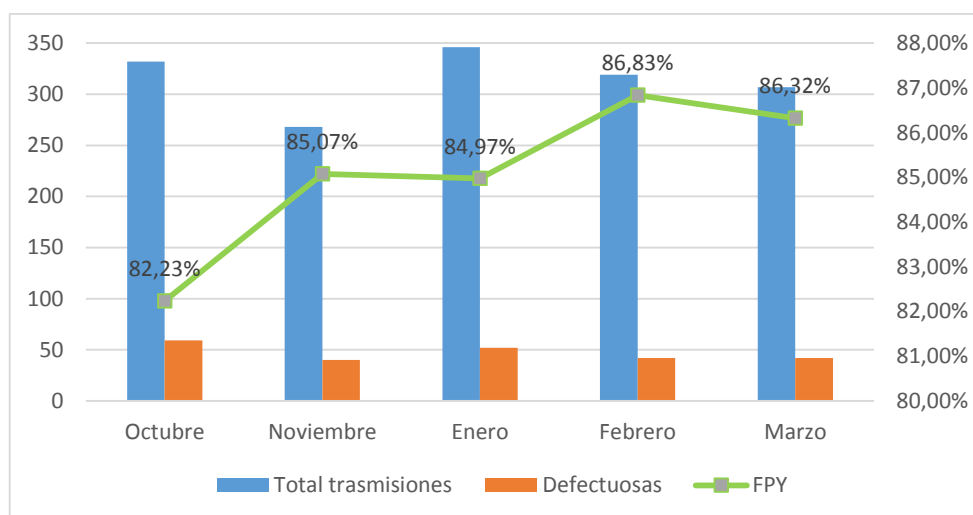


Figura 121: "Evolución mensual del FPY para la transmisión ProDrive DE30056"

Capítulo VIII: Ejecución del plan de mejora del puesto de reproceso

8.1. Situación actual del puesto de reproceso

Hasta el momento se ha expuesto la mejora del proceso de montaje en la cadena con el fin de reducir los defectos y asegurar la máxima calidad del producto, sin embargo, la producción está acompañada de un 15% de transmisiones defectuosas que deben de ser analizadas y reparadas. Como se expondrá en los siguientes apartados, el puesto donde se realiza el trabajo de reproceso no cuenta con los mismos medios que el resto de la cadena lo que supone que, con aproximadamente 3439 transmisiones reprocesadas al año, la probabilidad de que un producto con algún tipo de defecto llegue al cliente se incrementa.

En los siguientes apartados se expondrá la situación de partida de la estación de reproceso, su organización, los elementos que la componen y el sistema de trabajo, para posteriormente presentar el proyecto de mejora del puesto.

8.1.1. Introducción

El puesto de reproceso de la línea de montaje ProDrive se encuentra situado al final de la línea de montaje junto al IPK de pintura donde se sitúan aquellas transmisiones cuyo montaje se ha finalizado y han superado los ensayos de rodadura. El reproceso se trata de un puesto que, aún situado en la línea, se encuentra separado tanto de la zona de premontajes como de la zona de montaje final.

Como se ha indicado a lo largo del proyecto, el puesto recibe aquellas transmisiones que presentan algún tipo de defecto y necesitan alguna corrección, mediante el reproceso, para cumplir con los requisitos de calidad y funcionalidad. El puesto también recibe para reparación aquellas transmisiones devueltas por el cliente y que presentan alguna disconformidad, o transmisiones para reclasificación. Todas estas acciones vienen definidas en la Norma ISO 9000. Según la Norma ISO 9000:2005 un reproceso es “una acción tomada sobre un producto no conforme para que cumpla con los requisitos”; la Norma también hace una distinción entre reprocesar y reparar, definiendo la reparación como “acción tomada sobre un producto no conforme para convertirlo en aceptable para su utilización prevista” y añade que “la reparación incluye las acciones reparadoras adoptadas sobre un producto previamente conforme para devolverle su aptitud al uso, por ejemplo, como parte del mantenimiento”. Por último una reclasificación consiste en una “variación de la clase de un producto no conforme, de tal forma que sea conforme con los requisitos que difieren de los iniciales”.

Como ejemplo de estas tres acciones, una transmisión reprocesada sería aquella cuyo montaje no se ha finalizado por la disconformidad con los requisitos, es decir, una transmisión en la que antes de mandarse al cliente se procesa de nuevo para cumplir las especificaciones. Por otro lado, una reparación se llevaría a cabo sobre una devolución del cliente en la cual se cambiaría algún elemento con el fin de asegurar su funcionalidad. En relación a la reclasificación, como

se expuso con anterioridad, la transmisión ProDrive cuenta con varios modelos, cada uno de los cuales está compuesto por elementos similares; por lo tanto, una reclasificación podría realizarse, por ejemplo, sobre un eje de entrada con el fin de variar el modelo del mismo.

8.1.2. Lay-out y flujo de materiales

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, el puesto de reproceso se encuentra situado al final de la línea de montaje y a él se dirigen las transmisiones defectuosas de la línea, o aquellas en las que es necesario realizar una acción separada de la línea de producción, como las expuestas anteriormente de reparación o reclasificación.

Como puede observarse en la figura 122, cuenta con dos caminos de rodillos en los que se sitúan por un lado las transmisiones con defectos que deben de ser reprocesadas (IPK de reproceso), y en el otro se sitúan aquellas transmisiones que una vez reprocesadas deben de ensayarse de nuevo en el bando de rodadura situado al final de línea (IPK cajas reprocesadas), con lo que existen dos flujos definidos de material, uno de entrada y otro de salida. Por otro lado, en caso de que una transmisión no pueda ser reparada y deba desguzarse, los premontajes (correctamente identificados con su correspondiente etiqueta de trazabilidad) se devolverán a los puestos de premontajes, ya sea para su reutilización en una transmisión, para el reproceso de los mismos o su desguse. Por último, todos aquellos elementos que deban de ser retirados de la línea y no puedan ser reutilizados ni reprocesados, se envían al banco de “scrap” correctamente identificados.

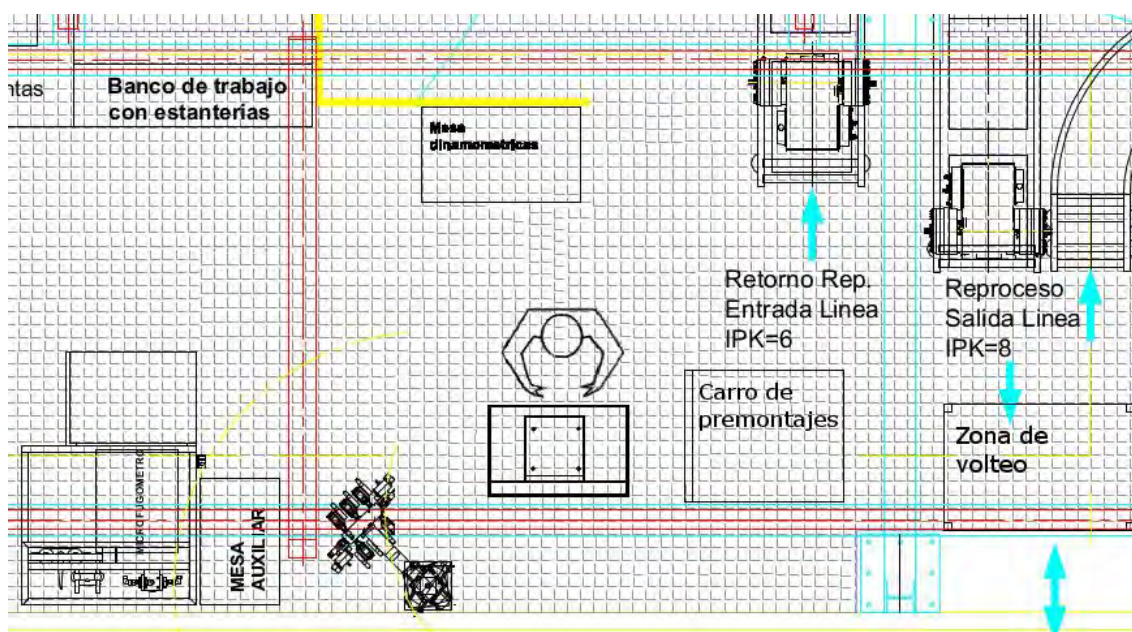


Figura 122: “Lay-out del puesto de reproceso de la situación de partida”

En la situación de partida, el puesto está compuesto por los siguientes elementos:

Banco de ensayos hidráulicos: la finalidad del banco hidráulico del puesto de reproceso es repetir las pruebas realizadas sobre la transmisión en el puesto 5 de la línea de montaje. Cuando una transmisión defectuosa se deriva al puesto de reproceso, en primer lugar se repiten los ensayos hidráulicos con el fin de comprobar que el error persiste o detectar otros posibles errores. Así mismo se comparan los resultados de la transmisión con los obtenidos en

la línea por si se detecta alguna anomalía. Posteriormente se procede al reproceso de la transmisión en función del fallo, ya sea hidráulico, de montaje o de rodadura. Una vez analizada la transmisión, detectado el defecto y subsanado, se repiten las pruebas hidráulicas, anotando la reparación realizada en el ordenador junto con el número de serie y modelo de la transmisión. Toda transmisión debe haber superado las pruebas hidráulicas correctamente para poder enviarla al puesto de rodadura.

Microfugómetro: al igual que la línea de montaje, el puesto de reproceso cuenta con un microfugómetro para el ensayo de fugas de aire expuesto con anterioridad. Al igual que el banco de pruebas hidráulicas, su función es la de ensayar de nuevo la transmisión, antes y después de haber sido reprocesada, con el fin de asegurar que el 100% de las transmisiones cumplen con las especificaciones del producto.

Por otro lado, en caso de que una posible fuga haya sido detectada en la línea pero no se haya localizado la causa de la pérdida de presión, se emplea la prueba de fugas para detectar el origen de la fuga y corregir el problema.

Volteador: el puesto cuenta con un volteador de un eje (ver figura 123) donde se fija la transmisión a reprocesar en posición vertical. A diferencia de los volteadores empleados en la línea de montaje, solo cuenta con un eje de giro, lo que limita el movimiento de la transmisión a 90º de giro en cada dirección, impidiendo situar la transmisión en posición vertical y limitando la accesibilidad del operario a la parte trasera de la transmisión.

Unidos a los problemas descritos de movilidad y accesibilidad para el reproceso de la transmisiones, el volteador actual cuenta con un problema grave de seguridad. Como se expone más adelante, las transmisiones derivadas al puesto de reproceso se envían a través de un camino de rodillos, sobre unos pallets de nylon, en posición horizontal. Para poder situar la transmisión sobre el volteador actual, el operario debe coger la transmisión mediante un gancho que la mantiene en posición horizontal y situarla sobre un pallet para posteriormente voltearla en posición vertical. Una vez situada verticalmente puede procederse a posicionarla en el volteador del puesto.

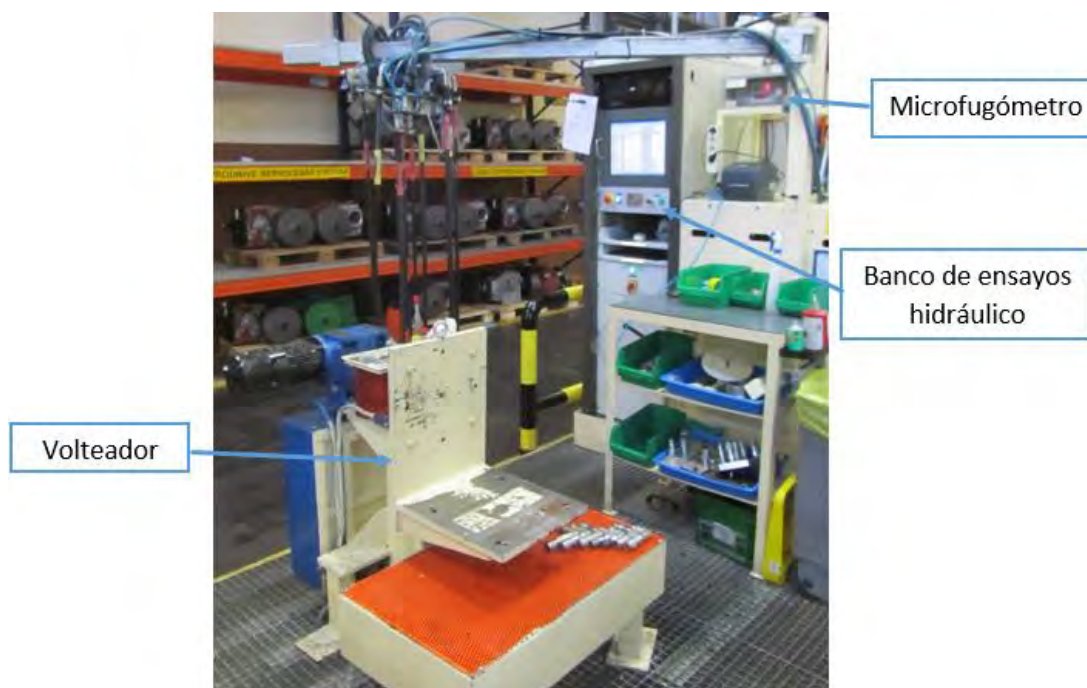


Figura 123: "Banco de volteo del puesto de reproceso en la situación de partida"

Puente grúa: permite el movimiento de material en dos ejes, tanto horizontal como verticalmente. En el puesto se emplea para el movimiento de las transmisiones del IPK de reproceso al volteador o para el traslado de las transmisiones, ya reprocesadas, al IPK del banco de rodadura. También se usa con fin de desplazar los premontajes a los carros, el proceso de desmontaje, o en el proceso de ensamblado final una vez la transmisión ha sido reprocesada.

Mesa de Herramientas: permite mantener el material ordenado y en una posición cercana al volteador donde se lleva a cabo el reproceso. En ella se colocan las llaves dinamométricas, llaves fijas y allen, alicates, buterolas y otros elementos necesarios para el montaje y/o desmontaje de la transmisión, asegurando que el operario cuenta con las herramientas necesarias para la realización del trabajo.

La mesa cuenta a su vez con tres cajones de material desechado (ver figura 124). En ellos se sitúan los tornillos que se han retirado de la transmisión o elementos dañados que no pueden reutilizarse. Según los criterios de calidad, una vez desmontados, no pueden volver a usarse los siguientes elementos: retenes, anillos tóricos, anillos elásticos, segmentos, tapones, tornillos en contacto con adhesivo, tornillos microencapsulados, juntas de papel y tuercas de frenado.



Figura 124: "Mesa de herramientas del puesto de reproceso"

Estanterías de material: en ella se sitúan de forma ordenada y correctamente referenciada los materiales más empleados en la reparación de las transmisiones, como tornillería, juntas metálicas, juntas tóricas de estanqueidad, sensores y tuberías entre otros (ver figura 125). En caso de que un elemento no se encuentre en el puesto y sea necesario su montaje, como puede ser el caso del cuerpo de válvulas, el operario debe de cogerlo de la línea de montaje.



Figura 125: "Estanterías de material del puesto de reproceso"

Estantería de ganchos: cada premontaje y elemento de la transmisión cuenta con un gancho específico, que se conecta al polipasto del puesto, con el fin de asegurar la máxima seguridad durante la manipulación de los mismos. La línea de montaje cuenta con un gran número de estos dispositivos, situados en cada puesto según las operaciones de montaje lo requieran. En el puesto de reproceso es necesario contar con un duplicado de cada gancho, permitiendo así que el operario pueda realizar su trabajo con las mismas condiciones de seguridad de la línea, garantizando una manipulación adecuada de los elementos.

Por ello el puesto cuenta un panel en el que se posicionan todos los ganchos a una distancia adecuada y ordenados correctamente, facilitando así el trabajo del operario.

Carro de premontajes: durante el reproceso de las transmisiones, en algunos casos, es necesario desmontar los mecanismos de premontajes (transportadores, eje de entrada, eje intermedio, freno de estacionamiento, frenos de servicio y diferencial). El carro permite almacenar provisionalmente los elementos retirados para su posterior montaje en la transmisión.

Pistola neumática: se emplea para desmontar las uniones atornilladas de la transmisión, así como para la aproximación de tornillos y tuercas durante el montaje de la misma. Sin embargo, en la situación de partida del puesto de reproceso, los pares de apriete definitivos se aplican mediante llaves dinamométricas correctamente calibradas.

8.1.3. Sistema de trazabilidad

Como se define en la Norma ISO 9000:2005 la trazabilidad es la capacidad para seguir la historia, aplicación o la localización de todo aquello que está bajo consideración. La Norma indica que al considerar un producto la trazabilidad puede estar relacionada con:

- El origen de los materiales y las partes
- La historia del procesamiento
- La distribución y localización del producto después de su entrega

Por lo tanto, la trazabilidad es una herramienta y conjunto de acciones de los sistemas de gestión que permite identificar, registrar y conocer la historia de un producto (adquisición elaboración, componentes, localización, destino, etc.), mediante un código identificativo unitario.

Todo sistema de trazabilidad cuenta con los siguientes componentes:

- Método de identificación
- Sistema de marcaje
- Sistema de lectura
- Datos del producto

A continuación se detalla el sistema de trazabilidad empleado en la línea de producción ProDrive.

8.1.3.1. Trazabilidad en la línea de montaje

La línea de montaje se divide en premontajes y montaje final, empleando en cada una de las partes un sistema de identificación y marcaje diferente. Sin embargo el sistema de lectura es común, así como el acceso a los datos del producto o subcomponente.

En relación a los premontajes, cada uno de ellos se identifica en el sistema mediante un código alfanumérico en el que se indica:

- Fecha
- Modelo
- Tipo de premontaje
- Número de serie

Ligado a cada número identificativo se asocia la hora de montaje o ensayo, el operario encargado, los pares de apriete aplicados, los valores de reglaje y los resultados de los ensayos (en caso de que se teste) y el número identificativo de los elementos montados entre otros datos. En relación al sistema de marcaje, los premontajes se identifican mediante un código de barras generado en una impresora de etiquetas (una por puesto). Esta etiqueta acompaña al premontaje para su identificación en la línea de ensamblaje final de la transmisión y su lectura se realiza mediante una pistola de lectura o escáner de código.

La transmisión se identifica también mediante un código alfa numérico que identifica el modelo y número de serie de la transmisión, y su marcaje se realiza a través de una chapa identificativa situada en la tapa frontal de la transmisión (ver figura 126) que se fija mediante dos remaches en el puesto de ensamblado 4.

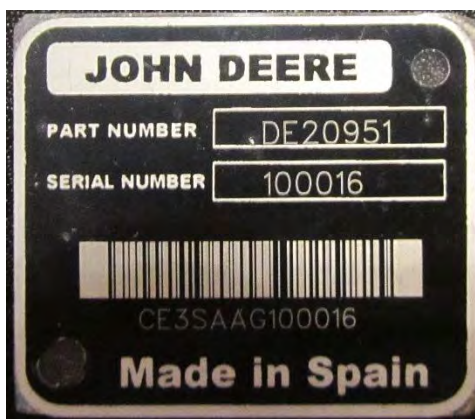


Figura 126: "Chapa identificativa de John Deere"

Al código de cada transmisión se le añade la información de montaje de cada puesto: reglajes, resultados de pruebas, pares de apriete; junto con los datos de la fecha, hora y operario. En los puestos donde se ensambla un premontaje en la transmisión, se lee el código de barras del mismo, quedando así registrado en el sistema. Durante el avance de la transmisión en el proceso de producción hasta llegar al cliente se le irán añadiendo información de otros departamentos involucrados en la cadena de producción.

Esta chapa identificativa acompaña a la caja durante toda su vida útil, permitiendo recuperar, a partir del número de serie de la misma, los datos del proceso de montaje y los mecanismos ensamblados, pudiendo llegar hasta las piezas del proveedor.

8.1.3.2. Trazabilidad en el puesto de reproceso

Como se ha visto cada transmisión cuenta con una chapa identificativa que recoge los datos del proceso de montaje de la caja en la cadena de producción. Sin embargo, esta situación cambia cuando una transmisión se envía al puesto de reproceso. Cuando una caja presenta algún tipo de defecto queda registrado en la trazabilidad de la misma y por seguridad se marca con una tarjeta de color azul (ver figura 127) en la que se indica la causa del rechazo; en dicha tarjeta también se registran otros datos como valores de los resultados de los ensayos o la identificación de daños o fugas de aire. Una correcta identificación facilita el trabajo de reprocesar la transmisión, ahorrando tiempo y evitar que algún posible defecto de montaje pase desapercibido.



Figura 127: "Transmisión defectuosa con tarjeta identificativa de modo de fallo"

Una vez la transmisión es posicionada en el puesto de reproceso para ser analizada y subsanado el fallo, el operario lee la chapa identificativa. La lectura le permite obtener los datos de los premontajes que componen la transmisión y, en caso de necesitarlo, consultar otros datos de la línea. El sistema permite al operario escribir la causa de fallo, el reproceso llevado a cabo sobre la transmisión, como cambiar una junta o desguazar la transmisión; sin embargo, a diferencia de la cadena, no quedan registrados los pares de apriete o resto de operaciones llevadas a cabo sobre la caja.

8.1.4. Conclusiones situación de partida

El puesto de reproceso cuenta con los elementos básicos necesarios para el desmontaje, montaje y reproceso de las transmisiones que se envían a dicho puesto, empero, como puede deducirse de la situación actual, presenta una serie de limitaciones e inconvenientes que dificultan, por un lado, el trabajo de los operarios y, por otro, no cuenta con los medios con lo que cuenta la cadena. En relación a los medios, la cadena cuenta con una gran inversión en recursos, tanto preventivos como correctivos, que aseguran la máxima calidad del producto, faltando dichos medios en el puesto de reproceso. A continuación se detallan los principales inconvenientes de la situación actual:

Volteador: A diferencia de los carros de línea que permiten giros de 360º y el volteo de la transmisión, el banco de reproceso solo permite una rotación de 90º a ambos lados de su eje de giro, sin posibilidad de voltear la transmisión y dificultando el trabajo. Debido a que la transmisión debe posicionarse verticalmente se produce una situación elevada de riesgo al tener que girar las cajas provenientes del camino de rodillos en posición horizontal.

Pares de apriete: en la línea de montaje los pares de las uniones atornilladas se aplican mediante herramientas eléctricas con transductor de toque; estas herramientas se complementan con sistemas de control que permiten establecer diferentes secuencias de apriete y contador de tornillos. Algunos puestos cuentan a su vez con ayudas luminosas que indican que todos los tornillos se han apretado correctamente. En relación a los elementos cuyo par se asegura mediante dinamométricas, cada puesto cuenta con una llave específica para cada par, impidiendo que el operario tenga que cambiar los valores de pudiendo llevar a error.

El puesto de reproceso por el contrario, no cuenta con herramientas eléctricas de precisión ni sistemas de control que aseguren que los pares aplicados en cada unión son los correctos; tampoco cuenta con otros accesorios como los anteriormente descritos, ni ayudas visuales que permitan al operario saber que todos los pares se han aplicado y no queda ningún tornillo suelto. Los pares de cada unión se realizan con llaves dinamométricas cuyos valores debe de ir cambiando el operario según la unión donde se va a aplicar. Por lo tanto, como se ha expuesto anteriormente, el proceso de reproceso depende de la experiencia y capacitación del operario, el cual debe de asegurar que todas las uniones son correctas.

Premontajes: la transmisión ProDrive está formada por seis subconjuntos o premontajes (eje de entrada, eje intermedio, transportadores, diferencial, frenos de servicio y freno de estacionamiento) que se ensamblan sobre la carcasa en la línea de montaje final. Durante el reproceso, si uno de estos elementos está dañado, no puede cambiarse por un elemento de la línea debido a que, por un lado, puede afectar al correcto equilibrado de la misma y, por otro, el cambio de un premontaje supone la repetición de los reglajes de la transmisión.

El puesto no cuenta con los medios necesarios para realizar reglajes ni para reprocesar ningún tipo de premontaje. En caso de que el defecto detectado pueda ser reparado, el premontaje debe de llevarse a su correspondiente puesto para su reproceso; esta situación conlleva varios inconvenientes entre los que destacan la posibilidad de reintroducir un elemento defectuoso a la línea o retrasar la producción.

Otro problema relacionado con los premontajes reside con su almacenaje durante el reproceso de una transmisión. Como se ha indicado, cuando un premontaje se desmonta de una transmisión se deposita en un carro para permitir que el operario pueda seguir trabajando. Sin embargo, dicho carro no cuenta con elementos de sujeción adecuados que permitan retirar las piezas de forma segura, pudiendo producirse daños y golpes sobre los componentes, dando lugar a nuevas causas de fallo o defectos en la transmisión

Trazabilidad: como se ha visto, todo el proceso de ensamblado queda registrado en un sistema de trazabilidad que permite realizar el seguimiento de cada elemento que compone la transmisión. Empero, el puesto de reproceso no cuenta con los medios de trazabilidad con los que cuenta la línea; esta situación hace que una transmisión reprocesada pierda su trazabilidad al no quedar correctamente registradas las acciones que sobre ella se han llevado a cabo.

8.2. Ejecución plan de mejora del puesto de reproceso

8.2.1. Objetivos del plan de mejora

El aseguramiento de la calidad total es uno de los principales objetivos que se persigue en la compañía, buscando satisfacer por completo tanto al cliente interno como al externo, unido a un proceso constante de mejora continua del proceso productivo y su producto. Fruto de la mejora continua, se fomenta la participación de todos los miembros de la organización y el trabajo en equipo.

En este contexto del aseguramiento de la calidad total se plantea la modificación del puesto de reproceso de la línea ProDrive. Como se ha expuesto con anterioridad, la línea de montaje cuenta con todas las herramientas necesarias para asegurar un proceso de ensamblado estable, trazable y bajo control, en el que, a través del seguimiento diario de la producción y las causas de fallo, se toman acciones, tanto preventivas como correctivas, con el fin de evitar posibles defectos en las transmisiones, asegurando por lo tanto la calidad del producto y evitando los costes derivados de los posibles fallos.

El puesto cuenta, como se ha visto en la situación de partida, con ciertas limitaciones que pueden acarrear problemas de calidad y seguridad. Por lo tanto, el objetivo del plan de mejora es igualar los medios del puesto a aquellos con los que disfruta la cadena de producción, con el fin de asegurar la máxima ergonomía y seguridad de trabajo así como evitar posibles errores derivados de un proceso inconsistente. A continuación se detallan los principales puntos del plan de mejora del puesto de reproceso:

- **Seguridad**: uno de los objetivos principales es asegurar la seguridad del puesto de montaje, mejorar la ergonomía y eliminar las situaciones de riesgo derivadas de la manipulación de la transmisión. Estos objetivos se aseguran mediante un banco de reproceso diseñado según las recomendaciones del departamento de seguridad; estas directivas también se tienen en cuenta en la instalación y diseño tanto de la herramienta eléctrica de apriete como de la prensa a instalar, medidas que se expondrán más adelante.
- **Calidad**: con la mejora del puesto se busca el aseguramiento de la máxima calidad del producto, mantenido los mismos niveles alcanzados en la cadena de producción. A su vez, se pretende eliminar situaciones de riesgo de calidad como el retorno de elementos defectuosos a la zona de premontajes, errores de apriete de uniones o elementos roscados.
- **Productividad**: de media un 15% de las transmisiones presentan algún tipo de defecto que debe de ser subsanado. Con la mejora del puesto se pretende agilizar el reproceso de las transmisiones defectuosas, haciendo que el proceso sea más estable y eficiente. También se busca asegurar la independencia de la estación con respecto a la cadena, permitiendo que el reproceso de los premontajes se pueda realizar junto a la transmisión, sin necesidad de retornar dichos elementos a la línea, lo cual puede llevar a desequilibrios en la producción.

- **Trazabilidad:** es primordial asegurar la trazabilidad del producto, por lo tanto, uno de los objetivos de la modificación del puesto de reproceso es incluir los medios necesarios para el mantenimiento de la misma. Todas las acciones realizadas sobre una transmisión deben de quedar correctamente registrados y almacenados.

Para finalizar, es importante destacar que el proyecto de mejora se lleva a cabo gracias al trabajo conjunto de los departamentos de manufactura, producción, calidad, ingeniería, seguridad industrial y compras, unido al trabajo y dedicación del personal implicado junto con el trabajo y experiencia de los operarios de la cadena de montaje.

8.2.2. Instalación banco de volteo automático

En la situación de partida, y tal como se expuso anteriormente, el puesto de reproceso contaba con un volteador de un solo eje, cuyo movimiento estaba limitado a giros de 90º, con lo que la maniobrabilidad de la transmisión para su análisis y reparación era limitada. Unido a este hecho se encuentra el potencial riesgo de accidente que existe en el puesto debido a la necesidad de tener que voltear la transmisión en un pallet para poder posicionarla verticalmente, posición en la que se sitúa la caja sobre el volteador.

Con el fin lograr los objetivos de la mejora del puesto, buscando igualar los medios del puesto de reproceso a la los productivos de la línea, subsanar las dificultades y limitaciones del puesto, así como asegurar la mejoras condiciones de trabajo y seguridad, se procede a la instalación de un volteador automático de dos ejes, cuyas características se exponen a continuación.

El nuevo banco de reproceso ProDrive es producido por la compañía GL&G PRODUCTIVITY S.L dedicada a la realización de proyectos de ingeniería multidisciplinares. Esta empresa se encarga del diseño, fabricación y puesta en marcha del banco.

El diseño, fabricación, montaje y manipulación se realiza cumpliendo las directivas y normas vigentes:

- 2006/42/CEE correspondiente a la Directiva europea de máquinas
- Real Decreto RD1644/08 de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- Directiva 2006/95/CEE para equipos de baja tensión
- Directiva 2004/108/CE de compatibilidad electromagnética
- Norma UNE-EN ISO 12100:2012 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
- UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. (IEC 60204-1:2005, modificada).
- UNE-EN ISO 13850:2008 Seguridad de las máquinas. Parada de emergencia. Principios para el diseño. (ISO 13850:2006)
- UNE-EN 953:1998+A1:2009 Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles
- UNE-EN ISO 13849-1:2007 Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño. (ISO 13849-1:2006)

- UNE-EN ISO 4413:2011 Transmisiones hidráulicas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4413:2010)
- UNE-EN ISO 4414:2011 Transmisiones neumáticas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4414:2010)

Características técnicas:

El banco de reproceso cuenta con una longitud de 1735 mm, 1200 mm en la zona de trabajo, una anchura de 1165 mm y una altura máxima de 1215 mm, asegurando la ergonomía del puesto de trabajo y la máxima accesibilidad a la transmisión. Como puede observarse en la figura 128, el banco cuenta con una mesa de volteo que permite una rotación de 90º en la vertical, permitiendo mantener la transmisión en posición vertical u horizontal en función de las necesidades de trabajo. También cuenta con una mesa de giro, donde se fija la transmisión, que posibilita la rotación de la transmisión en cualquier dirección hasta un giro completo de 360º; la rotación de la misma puede llevarse a cabo con la mesa de volteo orientada tanto horizontal como verticalmente. Esta conjunción de doble eje de giro, accionado mediante dos motores eléctricos, permite que el operario pueda colocar la transmisión en la posición más cómoda y segura para llevar a cabo el reproceso (ver Anexo VIII).

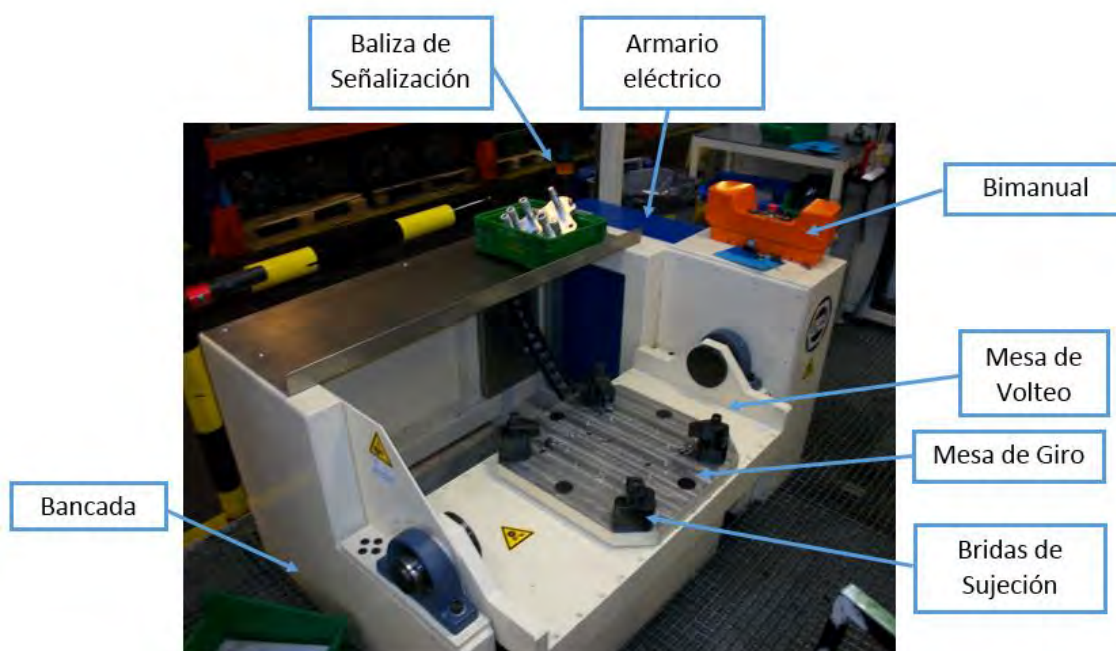


Figura 128: "Nuevo banco de volteo instalado en el puesto de reproceso"

El sistema se acciona mediante una botonera bimanual (ver figura 129) posicionada en el lateral derecho del banco. Por seguridad deben de accionarse los botones bimanuales simultáneamente con el fin de asegurar que el operario no quede atrapado en el movimiento de las mesas, tanto de giro como de volteo.

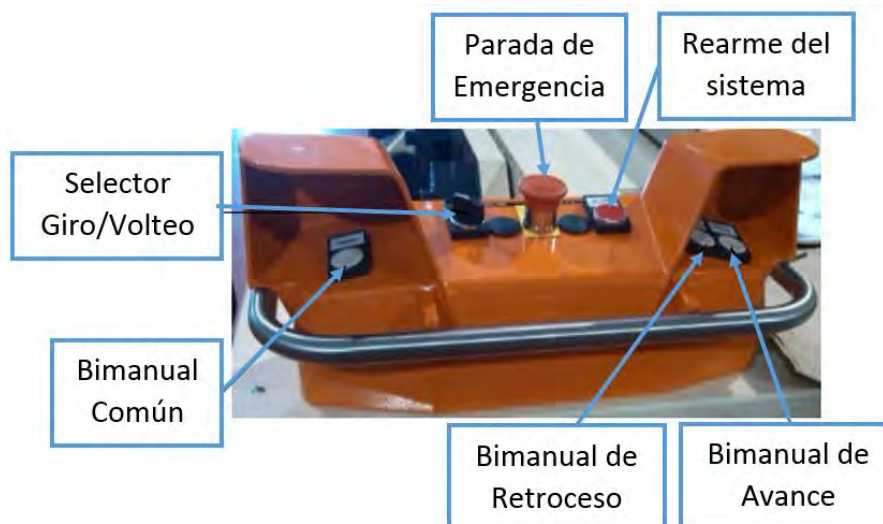


Figura 129: “Botonera bimanual de accionamiento del banco de volteo”

En relación al posicionamiento de la transmisión, al igual que en la situación de partida, la carga y descarga de la transmisión al banco se realiza de forma manual mediante el gancho correspondiente y haciendo uso del puente grúa. La nueva mesa de trabajo permite el movimiento directo de la transmisión desde el camino de rodillos al banco, asegurando su amarre a la mesa de giro mediante cuatro bridas de sujeción, las cuales se atornilla mediante la pistola neumática del puesto. Con este cambio, se elimina la operación intermedia de alto riesgo de volteo de la transmisión en pallet para posicionarla en verticalmente en el banco.

En cuanto a la manipulación de la transmisión, una vez colocada en la mesa de giro, el volteo no podrá llevarse a cabo hasta que el sistema no detecte que las cuatro bridas de sujeción se encuentran debidamente apretadas. Además, el banco cuenta con un cilindro neumático que asegura la fijación de la mesa de giro, impidiendo que durante la manipulación de la caja la mesa quede liberada y pueda rotar. La posibilidad de accionamiento del banco se transmite al operario mediante baliza de señalización, que indicará que la mesa puede manipularse o, por el contrario, que alguna de las bridas se encuentra suelta o el cilindro de fijación no está en su posición.

Por último, la mesa de volteo y la mesa de giro cuentan con dos sensores de posición que detectan que ambas se encuentren correctamente centradas para poder realizar las operaciones de volteo. Las posiciones vienen señalizadas en el banco para que el operario pueda comprobar visualmente que ambas mesas se encuentran posicionadas adecuadamente.

Ergonomía:

El banco de reproceso está diseñado según la normativa interna JDS-D86 “Pautas de diseño ergonómico para la fabricación” con el fin de asegurar las mejores condiciones de trabajo. Según estas pautas de diseño el puesto se debe diseñar para albergar al 90% de la población laboral. A continuación se detallan las gamas de trabajo:

- Separación: se diseña según el percentil 95 masculino.
- Alcance: se diseña según el percentil 5 femenino.
- Fuerza: hace referencia al 75 % de la población femenina, que equivale al 99 % de la población masculina.

La tabla 22 recoge los datos de las dimensiones antropométricas en posición de pie para varios grupos étnicos.

Tabla 22: “Dimensiones antropométricas en posición de pie para varios grupos étnicos”

Región	Población	Estatura	Nivel de los ojos	Altura de los hombros	Altura de los codos	Altura del reposamano	Altura de las rodillas
Norte-americanos	Percentil 95 ^{to} masculino	189,5 cm (74.6 in)	177,5 cm (69.9 in)	157,5 cm (62.0 in)	121,7 cm (47.9 in)	85,6 cm (33.7 in)	56,9 cm (22.4 in)
Norte-americanos	Percentil 5 ^{to} femenino	154,4 cm (60.8 in)	144,5 cm (56.9 in)	124,0 cm (48.8 in)	97,0 cm (38.2 in)	69,6 cm (27.4 in)	44,5 cm (17.5 in)
Europeos	Percentil 95 ^{to} masculino	188,0 cm (74.0 in)	177,0 cm (69.7 in)	156,0 cm (61.4 in)	120,7 cm (47.5 in)	85,1 cm (33.5 in)	55,9 cm (22.0 in)
Europeos	Percentil 5 ^{to} femenino	153,2 cm (60.3 in)	143,0 cm (56.3 in)	124,0 cm (48.8 in)	95,5 cm (37.6 in)	68,6 cm (27.0 in)	43,9 cm (17.3 in)
Asiáticos	Percentil 95 ^{to} masculino	180,1 cm (70.9 in)	166,6 cm (65.6 in)	145,5 cm (57.3 in)	110,5 cm (43.5 in)	84,1 cm (33.1 in)	51,1 cm (20.1 in)
Asiáticos	Percentil 5 ^{to} femenino	148,1 cm (58.3 in)	135,6 cm (53.4 in)	112,5 cm (44.3 in)	89,7 cm (35.3 in)	67,6 cm (26.6 in)	39,9 cm (15.7 in)
Latino-americanos	Percentil 95 ^{to} masculino	178,8 cm (70.4 in)	166,4 cm (65.5 in)	150,4 cm (59.2 in)	114,6 cm (45.1 in)	90,9 cm (35.8 in)	52,8 cm (20.8 in)
Latino-americanos	Percentil 5 ^{to} femenino	148,3 cm (58.4 in)	137,4 cm (54.1 in)	120,9 cm (47.6 in)	93,5 cm (36.8 in)	72,9 cm (28.7 in)	42,2 cm (16.6 in)
Los datos de 0 provienen de <i>Pautas de diseño ergonómico para ingenieros</i> . Los datos incluyen un adicional de 2,5 cm (1 in.) para los zapatos.							

En relación a la altura recomendada, el diseño del puesto se realiza en función del tipo de trabajo a realizar:

- Para los trabajos de precisión, las alturas del puesto de trabajo deben ser de 5 cm a 10 cm sobre la altura del codo para reducir la tensión en el cuello.
- En ambientes de trabajo ligero (<4,5 kg) la altura del puesto de trabajo debe estar justo debajo de la altura del codo.
- En ambientes de trabajo pesado (≥4,5 kg), o cuando se necesitan fuerzas descendientes, la altura del puesto de trabajo debe ser de 10 cm a 15 cm por debajo de la altura del codo.

La tabla 23 recoge las alturas de codo en posición de pie:

Tabla 23: “Alturas de codo en posición de pie para varios grupos étnicos”

Región	Percentil 95 ^{to} masculino	Percentil 5 ^{to} femenino
EE. UU. y Canadá	121,7 cm (47.9 in)	97,0 cm (38.2 in)
Europa	120,7 cm (47.5 in)	95,5 cm (37.6 in)
Asia	110,5 cm (43.5 in)	89,7 cm (35.3 in)
América Latina	114,6 cm (45.1 in)	93,5 cm (36.8 in)
Los datos de la Tabla 3 provienen de las <i>Pautas de diseño ergonómico para ingenieros</i> . Los datos incluyen un adicional de 2,5 cm (1 in.) para los zapatos.		

El puesto se diseña para el 5 percentil femenino y ambiente de trabajo pesado, por lo que la altura recomendada de trabajo es de 80 cm a 85 cm.

En relación a la separación para los brazos, se debe diseñar para acomodar el puesto al percentil 95 masculino:

- Se debe proporcionar una separación de 20 cm de diámetro para el acceso de un brazo.
- Se debe proporcionar una separación de 61 cm de diámetro para el acceso de dos brazos.

En el caso del volteador se proporciona una separación para el caso más desfavorable de 66 cm.

8.2.3. Instalación herramienta eléctrica de apriete

La transmisión ProDrive DE30056 cuenta con 133 uniones atornilladas: 24 del diferencial, 3 del freno de servicio, 10 del freno de estacionamiento, 12 del eje de entrada y 84 tornillos del ensamblado final de la transmisión. El aseguramiento de cada uno de los pares de apriete de las uniones es crítico ya que un tornillo incorrectamente apretado, tanto por exceso de par como por defecto, puede acarrear importantes problemas de funcionamiento de la transmisión, acortando la vida de la caja por daños o fugas de aceite, lo que puede conllevar serios inconvenientes para el cliente y daños a la imagen de la compañía. Unido a la calidad del producto, se busca disminuir los costes por errores de apriete, ya que un fallo en la unión, como una rosca pasada o un tornillo partido, puede acarrear el desguace de la transmisión y el deterioro del material.

La calidad de cada uno de los aprietes se garantiza mediante atornilladores eléctricos, con control de posición y secuencia de apriete, lo que garantiza que todos los tornillos se han apretado y se encuentran dentro de los márgenes de diseño. Como se expuso con anterioridad, cada atornillador almacena los datos de los aprietes quedando registrados en el informe del producto, tanto de los premontajes como del ensamblado final de la transmisión.

Como se comprueba de los escenarios de fallos anteriormente descritos, cuando una transmisión se manda al puesto de reproceso, es necesario, por lo general, desmontar parte de la caja para su análisis y reprocesado. Una vez localizada la posible causa del fallo todos los elementos deben de montarse de nuevo en el orden correcto y asegurando no dañar la transmisión. Por último deben de apretarse cada unión atornillada, pero, a diferencia de los puestos de la línea, el reproceso no cuenta con los sistemas de calidad y control que el resto de puestos, y los pares de apriete se aplican mediante llaves dinamométricas. El proceso de montaje depende únicamente de la experiencia del operario que debe de asegurarse que ha montado y apretado correctamente cada tornillo, así como seleccionado el par correcto en la llave dinamométrica. El puesto no cuenta con Poka-Yokes ni sistemas de control de calidad y la única documentación visual de ayuda son las hojas de datos mecánicos que se emplean para el ensamblado de la transmisión en la línea de montaje.

En relación a la trazabilidad, como se deduce de la situación de partida, las operaciones realizadas para el reproceso de la transmisión no quedan correctamente documentadas, y los nuevos pares de apriete aplicados no quedan registrados.

Como consecuencia de las necesidades, tanto productivas como de calidad, se decide instalar un atornillador eléctrico en el puesto de reproceso, con el fin de asegurar que las

transmisiones modificadas en dicho puesto cumplan con los requisitos de calidad y funcionalidad que se aseguran en la cadena, con el fin de alcanzar la calidad total de los productos enviados al cliente. La figura 130 muestra la modificación del puesto de reproceso con el sistema de apriete y los elementos que lo componen, los cuales se analizan detalladamente más adelante.

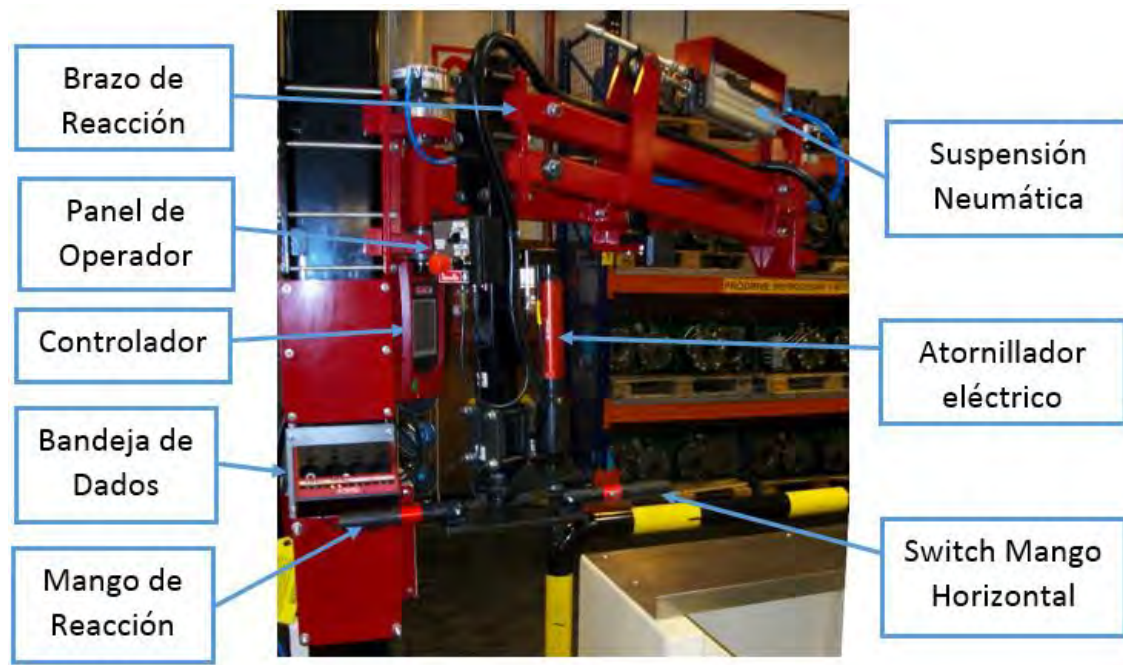


Figura 130: "Conjunto de herramientas de apriete eléctrico"

A continuación se detalla cada uno de los elementos que componen el mecanismo:

Atornillador eléctrico:

El par máximo de apriete de la transmisión ProDrive es de 370 ± 37 Nm, y corresponde con los seis tornillos de fijación del transportador a la carcasa, mientras el par mínimo de apriete es de 25 ± 5 Nm correspondiente a los tres tornillos del premontaje del freno de estacionamiento. Como puede verse en la tabla 24, que recoge las uniones atornilladas mediante herramienta eléctrica en línea, las especificaciones de plano exigen una tolerancia del 10%.

Tabla 24: "Valores de par de apriete para las uniones atornilladas de la transmisión ProDrive DE30056"

Puesto	Elemento	Descripción	Cantidad	Par [Nm]	Tolerancia	Eléctrica
MF1	CE30718	Tornillos Flor	6	370	±10%	Si
MF1	19M7810	Tornillos P.B.	8	80	±10%	Si
MF2	19M7576	Tornillos P.B.	4	73	±10%	Si
MF2	R39741	Tapón	2	190	±10%	Si
MF2	CE30718	Tornillos Flor	6	370	±10%	Si
MF3	19M7657	Tornillos Tapa CE30132	13	35	±10%	Si
MF3	19M7791	Tornillos Freno	12	125	±10%	Si
MF4	19M7786	Tornillos Tapa	12	50	±10%	Si
MF6	19M8130	Tornillos C.V.	2	73	±10%	Si
MF6	19M7576	Tornillos C.V.	13	73	±10%	Si
MF6	19M8024	Tornillos C.V.	1	35	±10%	Si
Diferencial	19m7791	Tornillos tapa	10	140	±10%	Si
Diferencial	R112888	Tornillos Corona	14	340	±10%	Si
Freno Serv	ce31386	Tornillo freno	3	25	±20%	Si
Freno Est	19m7791	Tornillos tapa superior	4	140	±10%	Si
Freno Est	19m9214	Tornillos tapa inferior	6	74	±10%	Si
Eje entrada	19m7786	Tornillos tapa embrague sup	6	70	±10%	Si
Eje entrada	19m7944	Tornillos largos	6	70	±10%	Si

Debido al amplio rango de trabajo, los pares de apriete no pueden asegurarse con una única herramienta, por lo que se decide que el límite superior sea del 10% sobre el límite máximo de trabajo que es de 370+37Nm. La selección de la herramienta se hace en función de la cadencia y los requerimientos de trabajo, así como la posición de las uniones atornilladas; la selección es fruto del trabajo interdepartamental.

Al igual que el resto de la línea, se trabaja con la marca Desoutter, y se instala un atornillador fijo eléctrico de alta durabilidad EME80-20J (figura 131) con transductor de torque eléctrico integrado que, junto al controlador, permiten un apriete a par y ángulo. El transductor tiene una resolución de 0,5° y una tolerancia de ±0,35. La tabla 25 recoge las características de la herramienta seleccionada.

Tabla 25: "Catálogo de especificaciones de atornilladores eléctricos Desoutter"

MODELO	REFERENCIA	CUADRO DE SALIDA	RANGO DE PAR		VELOCIDAD DE ROTACIÓN	MIN. DISTANCIA ENTRE EJES		LONGITUD	
		in.	mm	ft. lb.	rpm	mm	in.	mm	in.
EME35-10J	615 165 423 0	3/8	1-8	0,7-5,9	2067	43,2	1,7	283	11,1
EME35-20J	615 165 424 0	3/8	4-15	2,1-11	2067	43,2	1,7	308	12,1
EME38-10J	615 165 425 0	3/8	9-30	6,6-22	1287	43,2	1,7	355	14
EME38-20J	615 165 426 0	3/8	10-45	7,4-33	1092	43,2	1,7	355	14
EME51-10J	615 165 427 0	1/2	20-70	15-52	650	51,2	2,0	374	14,7
EME51-20J	615 165 428 0	1/2	30-135	22-99	403	51,2	2,0	401	15,8
EME60-10J	615 165 429 0	1/2	20-95	15-70	923	60,2	2,4	431	16,9
EME60-20J	615 165 430 0	3/4	50-175	37-129	507	60,2	2,4	431	16,9
EME60-30J	615 165 431 0	3/4	70-250	52-184	299	60,2	2,4	467	18,4
EME80-10J	615 165 432 0	3/4	80-300	59-221	286	80,2	3,2	494	19,5
EME80-20J	615 165 433 0	3/4	120-450	88-221	195	80,2	3,2	494	19,5
EME80-30J	615 165 434 0	1	180-650	133-479	130	80,2	3,2	494	19,5
EME80-40J	615 165 435 0	1	220-800	162-590	91	80,2	3,2	494	19,5
EME80-50J	615 165 436 0	1	220-1000	162-737	72	80,2	3,2	494	19,5
EME106-10J	615 165 437 0	1	430-1500	317-1105	52	106,2	4,2	564	22,2
EME106-20J	615 165 438 0	1	540-1900	398-1400	39	106,2	4,2	564	22,2

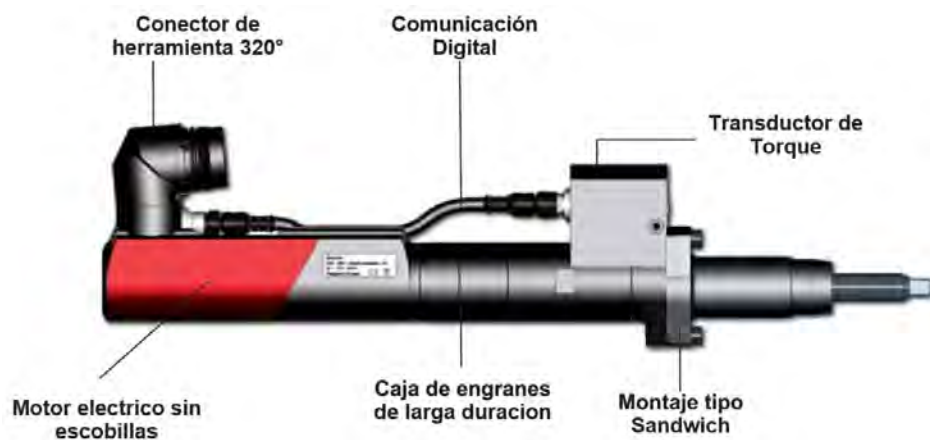


Figura 131: "Atornillador Desoutter de la serie EME"

Controlador:

Junto a atornillador electrico se instala un cofre de control Desoutter CVI3 Vision. Esta centralita permite seleccionar la estrategia de apriete ofreciendo apriete controlado por par, ángulo, par y ángulo o apriete a limite elástico. A continuación se especifican cada una de estas técnicas de apriete:

- Apriete a par controlado: es la manera más sencilla de apretar. Solo se monitoriza el par, asegurando que se encuentra entre los límites de tolerancia establecidos. La figura 132 muestra un gráfico ejemplo para el apriete por control de par.

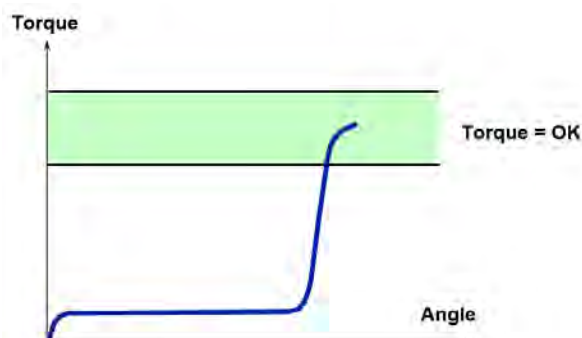


Figura 132: "Gráfica de apriete por control de par"

- Control de par y monitorización del ángulo: se trata de la técnica más precisa de apriete, controlando que el par se encuentra entre los límites establecidos y el ángulo de giro es correcto. La figura 133 ilustra el apriete por control de par y ángulo mostrando los casos correctos y posibles fallos en el apriete.

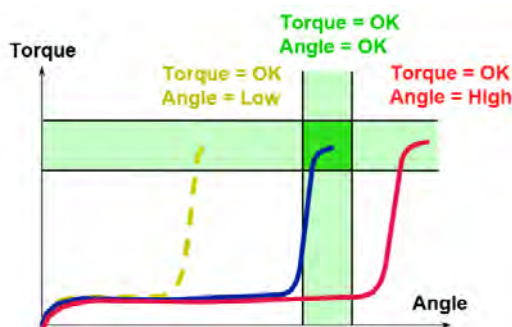


Figura 133: "Gráfica de apriete por control de par y ángulo"

- Apriete a par más ángulo: En este caso, se realiza un asentamiento del tornillo a un par determinado para posteriormente girar la tuerca un ángulo establecido. Este método se emplea para trabajar en la zona plástica o aprovechar la capacidad máxima del tornillo. La figura 134 ilustra un ejemplo de apriete en el que, una vez alcanzado el par de apriete adecuado, se asegura la fuerza de amarre mediante un ángulo de giro determinado.

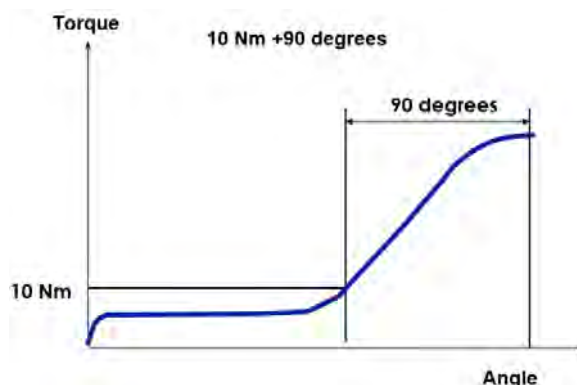


Figura 134: "Gráfica de apriete a par más ángulo"

- Apriete a límite elástico: Se aplica torsión hasta llegar al límite elástico del tornillo o tuerca. Se emplea cuando se requiere alcanzar la máxima capacidad de amarre sin provocar una deformación permanente. La figura 135 representa el gráfico de tensión frente al ángulo de giro.

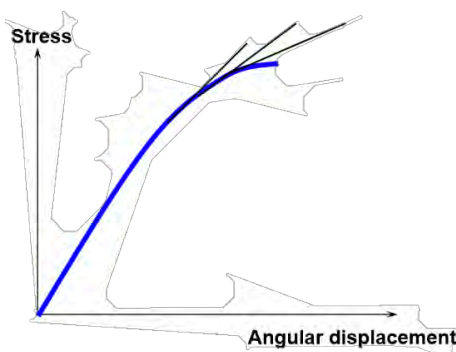


Figura 135: "Gráfica de tensión frente ángulo de giro"

El controlador también permite establecer hasta un máximo de 250 procesos o secuencias de apriete, con 32 acciones por proceso. Estas secuencias permiten programar el sistema en función de la técnica de apriete junto con los valores de par, ángulo o límite elástico; también permiten establecer el número de uniones para cada proceso y el orden de apriete. Un ejemplo de proceso de apriete determinado serían los transportadores; mediante la secuencia se determina el par de apriete y el número de pasos. En este caso se determina un rango de par de 370 ± 37 Nm con un apriete en cruz y dos pasadas, lo que quiere decir que el operario debe de apretar los tornillos en dos pasos, uno de asentamiento y otro de reapriete.

Otra de las ventajas del controlador es la capacidad de almacenamiento de los resultados de los aprietes. El controlador permite almacenar los valores obtenidos de los aprietes en el informe de trazabilidad de la transmisión, al igual que se almacenan en la línea de montaje, mediante un lector de código de barras. Estos datos permiten comprobar la historia de la transmisión respecto a las uniones atornilladas y en caso de reproceso asegurar que las uniones se han procesado de nuevo correctamente. A su vez, el controlador cuenta con una memoria interna en la que se pueden almacenar 10000 datos para su posterior estudio y análisis, datos que pueden sustraerse del cajón mediante un puerto USB.

En resumen, el controlador CVI3 Vision (figura 136) supone el cerebro del atornillador eléctrico, controlando la velocidad de giro, el ángulo, el par de apriete o la fuerza de amarre. El controlador es el encargado por lo tanto de asegurar la calidad del apriete, monitorizando no solo los valores anteriormente indicados, sino también la secuencia y proceso de apriete.



Figura 136: "Controlador Desoutter CVI3 Vision"

Brazo de reacción:

Las herramientas eléctricas de apriete destacan por su gran precisión y por la capacidad de conocer el par en tiempo real por el control de corriente. Sin embargo, presentan un elevado par de reacción. Cuando el par de apriete en herramientas eléctricas verticales sea superior a 2,5 Nm es recomendable la instalación de un brazo que absorba la reacción de la torsión, empero, la instalación depende de múltiples factores como la cadencia de trabajo, número de horas, número de aprietes, etc. En el caso del puesto de reproceso, el departamento de seguridad industrial determina, mediante la norma interna "JDS-D86: Pautas de diseño ergonómico para la fabricación", la instalación de un brazo de reacción junto con los mangos horizontales de manipulación. En dicha norma se establece a su vez para el diseño de herramientas las siguientes pautas:

- Las manijas de las herramientas deben ser de goma suave, espuma de celda cerrada o plástico. Las manijas de las herramientas deben estar orientadas para minimizar las posturas difíciles.
- Elegir herramientas sin ranuras para dedos en la manija. Elegir herramientas que se puedan utilizar con cualquiera de las dos manos.
- Considerar el uso de herramientas con bridas y manijas de apoyo para disminuir la fuerza de sujeción y ayudar a estabilizar la herramienta.
- Las herramientas de 2 kg o más pesadas que se utilizan con frecuencia alejadas del cuerpo o sobre la altura del hombro se deben sujetar con un equilibrador de herramientas. Considerar el uso de un brazo de manipulación para las herramientas de 4,5 kg o más pesadas.
- Los gatillos deben ser de al menos 2,5 cm de largo para que el operador pueda activar el gatillo con uno o dos dedos. El gatillo debe requerir no más de 1 kg de fuerza de activación por dedo. Los gatillos más largos (para 4 dedos) se deben utilizar cuando la herramienta está suspendida.

Con respecto a los dispositivos de reducción de par, determina las herramientas de potencia de tracción continua deben contar con dichos dispositivos (herramientas del tipo embrague de seguridad, herramienta de corte o pistola de calado, herramienta pulsadora, barra de reacción o brazo de manipulación) en los siguientes casos

- Agarre tipo pistola > 6,8 Nm
- En línea > 3,2 Nm
- Ángulo recto > 50 Nm

También establece una serie de recomendaciones a seguir para el diseño de las herramientas de trabajo en función de la vibración que surge en la mano y brazo por el uso de herramientas de potencia.

- Seleccionar herramientas que tengan materiales de absorción de vibraciones en las empuñaduras, o que las tengan separadas del resto de la herramienta, o ambas.
- Evitar herramientas con vibración de poca frecuencia/amplitud alta (por ejemplo, 8 Hz a 1000 Hz se considera un riesgo elevado).
- Seleccionar herramientas con dispositivos de reducción de vibración incorporados como auto balanceo, amortiguación de vibración en empuñaduras o extensiones para casquillos, etc.
- Garantizar que las herramientas se mantengan correctamente. Las herramientas de impacto con una llave usada que no está equilibrada pueden transmitir más vibraciones al operador.
- Para evitar la transmisión de vibraciones y reducir la fuerza de agarre necesaria para sujetar la herramienta, elegir herramientas con materiales comprimibles en las empuñaduras, o colgar la herramienta de un equilibrador o un brazo de articulación, o ambos.

En relación a estas recomendaciones, la cadencia de trabajo y los elevados pares de apriete, se instala un brazo de reacción de aluminio con suspensión neumática; el cilindro de suspensión

permite disminuir el peso del conjunto, mejorando la ergonomía de la herramienta y su manipulación. La figura 137 muestra las características técnicas del brazo; en el Anexo IX se recogen los planos del brazo.



REF. FOTO	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	DE PAR	SUSPENSIÓN	POSICIÓN DE TRABAJO L1xL2	
					mm	ft
A	DSM0041000	Brazo de reacción	150 Nm (111 ft.lb)	Balancín	600x600	1.97x1.97
A	DSM0042000				800x800	2.62x2.62
A	DSM0043000				1000x1000	3.28x3.28
B	DSM0044000	Brazo de reacción	150 Nm (111 ft.lb)	Amortiguador de gas	600x600	1.97x1.97
B	DSM0045000				800x800	2.62x2.62
B	DSM0046000				1000x1000	3.28x3.28
B	DSM0047000	Brazo de reacción	300 Nm (221 ft.lb)	Amortiguador de gas	800x800	2.62x2.62
B	DSM0048000				1200x1200	3.94x3.94
B	DSM0049000				1500x1500	4.92x4.92
B	DSM0050000	Brazo de reacción	300 Nm (221 ft.lb)	Cilindro	800x800	2.62x2.62
C	DSM0051000				1200x1200	3.94x3.94
C	DSM0052000				1500x1500	4.92x4.92
C	DSM0053000	Brazo de reacción	600 Nm (442 ft.lb)	Cilindro	800x800	2.62x2.62
C	DSM0054000				1200x1200	3.94x3.94
C	DSM0055000				1500x1500	4.92x4.92
C	DSM0056000	Brazo de reacción	1000 Nm (737 ft.lb)	Cilindro	1000x1000	3.28x3.28
C	DSM0057000				1500x1500	4.92x4.92
C	DSM0058000				2000x2000	6.56x6.56
C	DSM0059000	Brazo de reacción	300 Nm (221 ft.lb)	Cilindro version Aluminio	1500x1500	4.92x4.92
C	DSM0060000		2000 Nm (1474 ft.lb)	Cilindro version acero	1500x1500	4.92x4.92

Figura 137: "Catálogo de brazos de reacción de par Desoutter"

El brazo vertical de fijación para el brazo de reacción de par cuenta a su vez con un soporte para el controlador CVI3 Vision a una altura de 1200 mm. Su posición se referencia según la normativa interna de ergonomía JDS-D86 para controles y pantallas, expuestos a continuación:

- Disponer los controles para que estén alineados con la pantalla o con la función de la máquina. Garantizar que el equipo no obstruya la línea de visión normal del operador. Se deben poder identificar fácilmente los controles por su función mediante etiquetas, colores, texturas y tipos.
- Para operaciones en posición de pie, los controles deben estar colocados de manera vertical entre 102 cm a 127 cm del piso. Los controles que se utilizan con más frecuencia se deben ubicar a 41 cm a la izquierda o la derecha de la línea central del operador.
- Los botones de presión dobles necesitan una fuerza de activación de menos de 2 kg. Los anillos de los botones de presión deben permitir la activación con la mano extendida y la palma hacia abajo. Los botones se deben ubicar a 97 cm desde el piso y a 46 cm entre sí. Para las instalaciones nuevas, considerar el uso de botones electrónicos de control confiable con fuerza cero.
- Los pedales requieren una fuerza de activación de menos de 4 kg. Los pedales se deben cubrir para evitar la activación inadvertida, mientras se garantiza la separación correcta para los pies. La parte superior de la cubierta de la llave debe tener como mínimo 140 mm cuando se mide desde el piso. Para evitar la carga estática de pierna,

no se recomiendan los pedales para el trabajo en posición de pie excepto para el uso poco frecuente.

Accesorios:

Como se ha mostrado, el sistema de aplicación de par está compuesto por un atornillador eléctrico, un brazo de reacción de par y un controlador. Junto a estos elementos se instalan una serie de accesorios para asegurar por un lado la ergonomía del mecanismo y por otro la calidad de los aprietes y el control sobre los mismos. Estos accesorios complementarios son los siguientes:

Bandeja de dados: la bandeja de dados o selector de vasos (figura 138) se trata de un complemento del controlador. Cuenta con 4 posiciones donde se sitúan las diferentes bocas de apriete en función de la secuencia de apriete seleccionada. Este elemento tiene como función la prevención de posibles errores durante el proceso de apriete, asegurando que el operario ha retirado y montado sobre el atornillador la boca adecuada para el tornillo de la secuencia de apriete. En caso de que en una secuencia se retira una boca de otro tamaño, el controlador no transmite potencia al atornillador.



Figura 138: "Selector de vasos Desoutter"

Mango de reacción y Switch de mango: como se expuso anteriormente, con el fin de asegurar la ergonomía de la herramienta y disminuir el par de reacción que pueda sentir el operario, se sitúan dos mangos de manipulación horizontales (para herramientas suspendidas) mejorando a su vez la maniobrabilidad de la misma. En dichos mangos se posiciona el botón de accionamiento del atornillador.

8.2.4. Instalación prensa de reproceso de premontajes

Hasta el momento, un fallo de un premontaje suponía el traslado del mismo al puesto de ensamblado correspondiente, donde se procedía a su análisis y reparación o desguace en función de la gravedad de la causa de fallo. Esta situación puede acarrear los siguientes problemas:

Confusión de un premontaje: al igual que las transmisiones, los premontajes defectuosos se identifican con una tarjeta azul en la que se indica la causa de su rechazo. A pesar de la identificación, esta situación puede provocar que un premontaje incorrecto se reintroduzca en la cadena de montaje, induciendo de nuevo un fallo o que dicho defecto llegue al cliente en caso de que no se detectase.

Producción: a partir de la secuencia de eventos, documento en el que se desglosan todas las operaciones de producción con su correspondiente tiempo, se realiza el estándar de

producción en el que se indica el número de horas necesarias para la producción de 100 piezas. Para cada puesto se calcula el estándar de horas y se equilibra la cadena en función de las mismas. Como se indicó anteriormente, los puestos de premontajes cuentan con un IPK cada uno en el que se almacenan los montajes finalizados con el fin de abastecer a la cadena, la cual tiene una cadencia superior. El tiempo de reproceso de un premontaje es superior al tiempo de producción del mismo, por lo que la reparación de varios elementos puede acarrear desequilibrios en la producción. A su vez, si un premontaje no puede ser reprocesado en su puesto por diferentes motivos, se produce el desguace completo de la transmisión.

Para subsanar las situaciones anteriormente descritas, separando de este modo los elementos que no cumplen las especificaciones con el resto de la cadena de montaje, evitando así posibles errores y manteniendo la independencia de la cadena con respecto al equilibrado y tiempo productivo, se instala una prensa vertical hidráulica en el puesto.

Con respecto a su uso, la prensa se emplea en las operaciones indicadas en la tabla 26, con el fin de asegurar el correcto montaje de los elementos:

Tabla 26: "Operaciones con prensa para el ensamblado de los premontajes"

Premontaje	Operación
Eje de Entrada	Montaje pistón embrague superior
	Montaje Belleville embrague superior
	Montaje pistón embrague inferior
	Montaje Belleville embrague inferior
	Montaje eje longitudinal
	Montaje rodamientos
Eje Intermedio	Montaje rodamientos
Transportadores	Montaje rodamientos
Frenos de servicio	Montaje rodamiento tapa
	Montaje eje de salida
	Montaje conjunto discos/ferodos
Freno de estacionamiento	Montaje pistón de accionamiento
	Montaje Belleville
	Montaje conjunto discos/ferodos

Para cada operación es necesario emplear una serie de útiles diseñados específicamente. Por lo tanto serán necesarios realizar duplicados para las operaciones llevadas a cabo en el puesto de reproceso.

La prensa es diseñada, fabricada y producida, al igual que el banco de reproceso, por la compañía GL&G PRODUCTIVITY S.L dedicada a la realización de proyectos multidisciplinarios de ingeniería.

El diseño, fabricación, montaje y manipulación cumplen con las directivas y normas vigentes:

- 2006/42/CEE correspondiente a la Directiva europea de máquinas
- Real Decreto RD1644/08 de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- Directiva 2006/95/CEE para equipos de baja tensión

- Directiva 2004/108/CE de compatibilidad electromagnética
- Norma UNE-EN ISO 12100:2012 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
- UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. (IEC 60204-1:2005, modificada).
- UNE-EN ISO 13850:2008 Seguridad de las máquinas. Parada de emergencia. Principios para el diseño. (ISO 13850:2006)
- UNE-EN 953:1998+A1:2009 Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles
- UNE-EN ISO 13849-1:2007 Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño. (ISO 13849-1:2006)
- UNE-EN ISO 4413:2011 Transmisiones hidráulicas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4413:2010)
- UNE-EN ISO 4414:2011 Transmisiones neumáticas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4414:2010)

Características técnicas

La prensa de reproceso presenta una longitud de 980 mm (frente de trabajo), un ancho de 1100 mm y una altura máxima de 2306 mm, asegurando la ergonomía del puesto de trabajo, la máxima seguridad y accesibilidad al banco (ver Anexo X).

Como puede observarse en la figura 139 la prensa está constituida por los siguientes elementos principales:

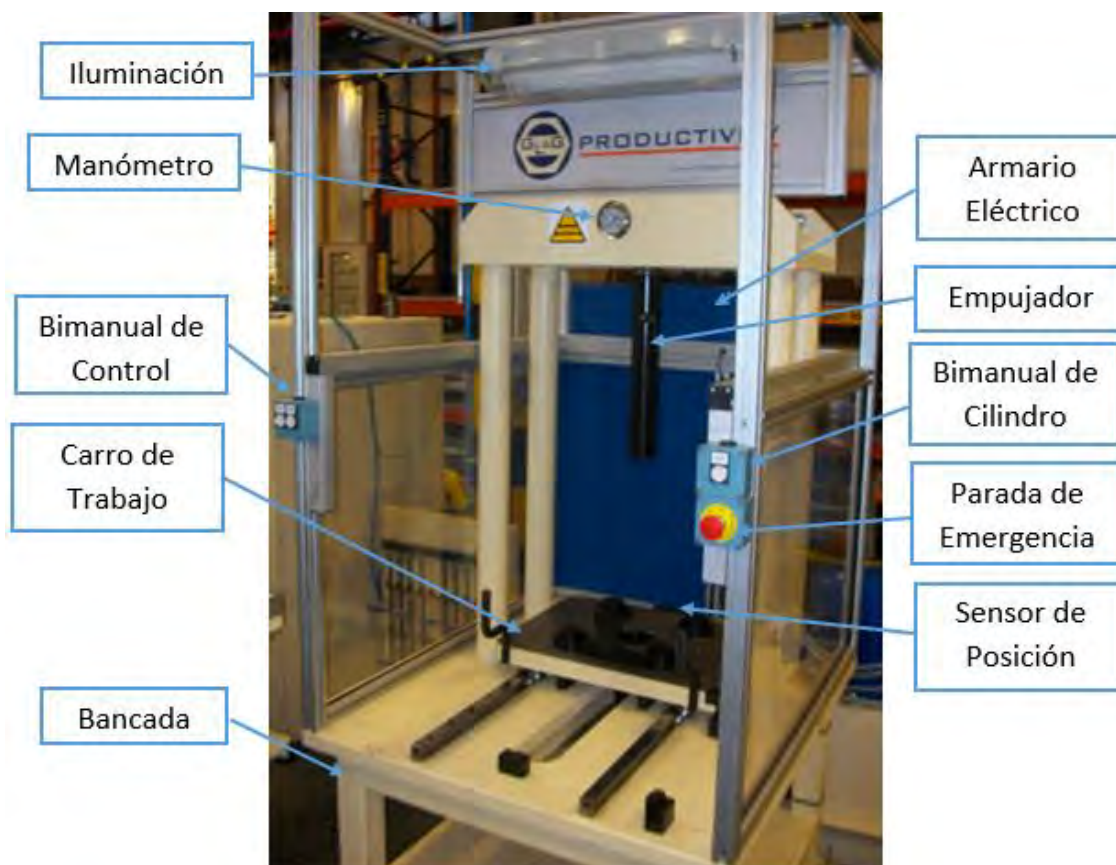


Figura 139: "Prensa para el reproceso de premontajes"

Bancada: realizada en acero, sirve de soporte al resto de elementos de la prensa.

Grupo hidráulico: conjunto encargado del control hidráulico de la prensa. Se encuentra separado del conjunto principal.

Cilindro de prensa: con una carrera de 400 mm el cilindro neumático de doble efecto Norgren NDT-100/070x400 desarrolla una fuerza máxima de 123 KN a una presión de 98 bares. El cilindro se regula para una velocidad de trabajo de 0,02 m/s y un tiempo de ciclo de 40 segundos.

Carro de trabajo: se trata de un carro de movimiento manual soportado por dos guías de cola de milano donde se posicionan las piezas. El carro cuenta a su vez con un fijador de posición para evitar posibles desplazamientos del mismo durante la actuación del cilindro.

Armario eléctrico: contiene los sistemas de control del equipo. En la parte exterior del armario se sitúa la botonera de accionamiento general (figura 140) para la activación o desactivación de la prensa, así como para el encendido de la iluminación del puesto.



Figura 140: "Botonera e indicadores de la prensa de reproceso"

Detector de posición: se trata de un sensor inductivo que asegura que el carro se encuentra correctamente posicionado con respecto al cilindro de actuación. En caso de que el sensor no detecte el carro el cilindro hidráulico no se acciona.

Bimanuales de control: se trata de dos conjuntos de botones de accionamiento situados a ambos lados de la prensa. El bimanual izquierdo, o de control, se emplea para indicar el sentido de avance o retroceso; mientras que el izquierdo, o de cilindro, indica el accionamiento del mismo. Por seguridad las botoneras de ambos lados deben de estar pulsadas simultáneamente con el fin de asegurar que el operario mantiene las manos en ellas durante el movimiento del pistón. En caso de que deje de ejercer presión sobre uno de los botones el sistema se detiene inmediatamente.

Manómetro: se encuentra situado en la parte superior central de la prensa. Sirve de indicación visual de la presión del circuito de activación hidráulica.

Junto a la prensa se instala un camino de rodillos (figura 141) que comunica el volteador con la presa de reproceso y en el que se depositan los premontajes una vez retirados de la transmisión. Cada premontaje cuenta con su propio útil de fijación con el fin de evitar posibles daños o golpes, permitiendo a su vez un mejor acceso tanto para el banco de reproceso como

a la prensa. Los premontajes se manipulan haciendo uso de sus correspondientes ganchos unidos al puente grúa del puesto.



Figura 141: "Camino de rodillos instalada en reproceso para el posicionamiento de los premontajes"

Ergonomía:

El diseño de la prensa, al igual que el resto de elementos, se realiza siguiendo la norma interna JDS-D86 "Pautas de diseño ergonómico para la fabricación". Por ello se establece una altura de trabajo de 799 mm y una separación entre pulsadores bimanuales de 840 mm.

8.2.5. Documentación y ayudas en reproceso

Hasta el momento el reproceso de las transmisiones dependía de la experiencia de los operarios del puesto. Junto con la modificación del puesto se determina la necesidad de incluir documentación y ayudas visuales que faciliten el trabajo de reprocesar las transmisiones defectuosas.

A continuación se detalla cada una de las documentaciones para la ayuda al reproceso que se han incluido en el puesto.

- Hoja de datos mecánicos

Cada estación de montaje de la cadena cuenta con las hojas de datos mecánicos necesarias para el correcto ensamblado de los elementos. Este documento se realiza para cada modelo de transmisión y premontaje; en él se indican las operaciones del proceso de montaje, recogidas también en la secuencia de eventos, de forma gráfica y ordenada.

Se trata por lo tanto de una ayuda visual que permite un mejor conocimiento del proceso de ensamblado, en el que se indica el orden de montaje de los elementos, las referencias identificativas de cada uno, así como los pares de apriete u avisos de calidad.

El puesto de reproceso cuenta con las hojas de datos mecánicos de todo el proceso de ensamblado, lo que permite al operario consultar la información necesaria para el montaje de la transmisión una vez ha sido reprocesada.

A diferencia del resto de estaciones, en las que solo se incluyen las hojas correspondientes a las operaciones de dicho puesto, en el reproceso deben de estar correctamente identificadas y ordenadas las hojas de todos los modelos productivos, así como de todas las operaciones y puestos. Por ello se decide almacenar esta documentación en el ordenador del banco de pruebas hidráulicas para que el operario pueda acudir a ellas en cualquier momento. En el Anexo XI se presenta un ejemplo de hoja de datos mecánicos.

- Hoja de montaje

Durante la consecución del proceso de mejora del puesto de reproceso, los operarios indican la necesidad de un documento sencillo y de poca extensión que permita consultar los datos básicos de ensamblado sin necesidad de acudir a las hojas de datos mecánicos. Para ello se decide diseñar una hoja que contenga las referencias de cada pieza, el puesto en el que se monta, los valores de par (en caso de que se aplique), así como si es necesario la aplicación de adhesivo, activador, grasa o aceite.

Esta hoja de consulta pretende agilizar el proceso de montaje de las transmisiones reprocesadas, siendo a su vez una ayuda para el aseguramiento de la calidad. En el Anexo XIII se presenta la hoja para la línea de montaje ProDrive modelo DE30056. La hoja de montaje también recoge la numeración de las llaves y herramientas de apriete para cada elemento lo que permite realizar un control de las mismas.

- Ayudas visuales

Junto a los documentos anteriormente descritos se realizan unas ayudas visuales en tamaño A2 en las que se indica de manera gráfica los circuitos de activación de los principales modos de fallo, así como los elementos implicados (ver Anexo XII). En cada imagen se muestra la referencia de los elementos involucrados, si deben de aplicarse algún tipo de adhesivo y los pares de cada pieza o unión atornillada.

Se realiza una ayuda visual para cada modo de fallo del banco hidráulico, en las que se incluyen información adicional, como la descripción de cada prueba y los gráficos de resultados. Estos documentos se almacenan a su vez en el ordenador para consulta.

- Manual de reproceso

Se trata de una guía en la que se recogen los principales pasos a seguir en función de los fallos de ambos bancos. Al igual que el resto de documentación, se trata de una ayuda para agilizar y facilitar el reproceso y análisis de las transmisiones.

En el manual se indican para cada modo de fallo las principales comprobaciones a realizar. Estas comprobaciones se agrupan según el orden de simplicidad:

- Comprobación visual: se indican los elementos que pueden incurrir en un fallo, como pueden ser el cuerpo de válvulas esclavo, una mala conexión de las tuberías o la comprobación de elementos externos del circuito, entre otras.
- Comprobación elementos principales: son comprobaciones que requieren del desmontaje parcial de la transmisión para su reproceso. Se indican los elementos

principales que pueden producir un defecto sobre la transmisión y pueden ser reparados.

- Comprobación y desguace: requieren del desmontaje parcial de la transmisión. En caso de que uno de los elementos indicados esté dañado la transmisión no podría reprocesarse y será necesario su desguace.

8.2.6. Evolución del Lay-out y flujo de materiales

Al igual que en la situación de partida, las transmisiones defectuosas entran al puesto a través del camino de rodillos que une la línea con la estación de reproceso, correctamente identificadas mediante las tarjetas azules presentadas anteriormente; de igual modo, las transmisiones reprocesadas se devuelven al banco de rodadura a través del camino de rodillos (IPK de rodadura) que une ambos puestos.

En relación a los premontajes, con la modificación del puesto se elimina el flujo de premontajes defectuosos, o por reprocesar, a sus correspondientes puestos de ensamblado. En el caso de que un premontaje deba ser reprocesado o desguazado, dichas acciones se realizarán en la prensa instalada para dicho fin.

Todos aquellos materiales dañados o que no puedan ser utilizados de nuevo en la cadena productiva se retiran al banco de “scrap”, correctamente identificada la pieza por su número de serie, fecha, operario que la retira y el motivo de la retirada. El movimiento de material se realiza con ayuda del puente grúa y los ganchos correspondientes para materiales pesados.

El material que se pueda volver a usar en el montaje se devuelve a las estaciones de montaje pertinentes. En el caso de que el material sea muy pesado el operario puede hacer uso de la carretilla elevadora o el carro situado junto al banco de “scrap”.

En la ilustración 142 se presenta el diagrama de distribución de planta para el puesto de reproceso una vez realizadas las modificaciones para la mejora de la estación.

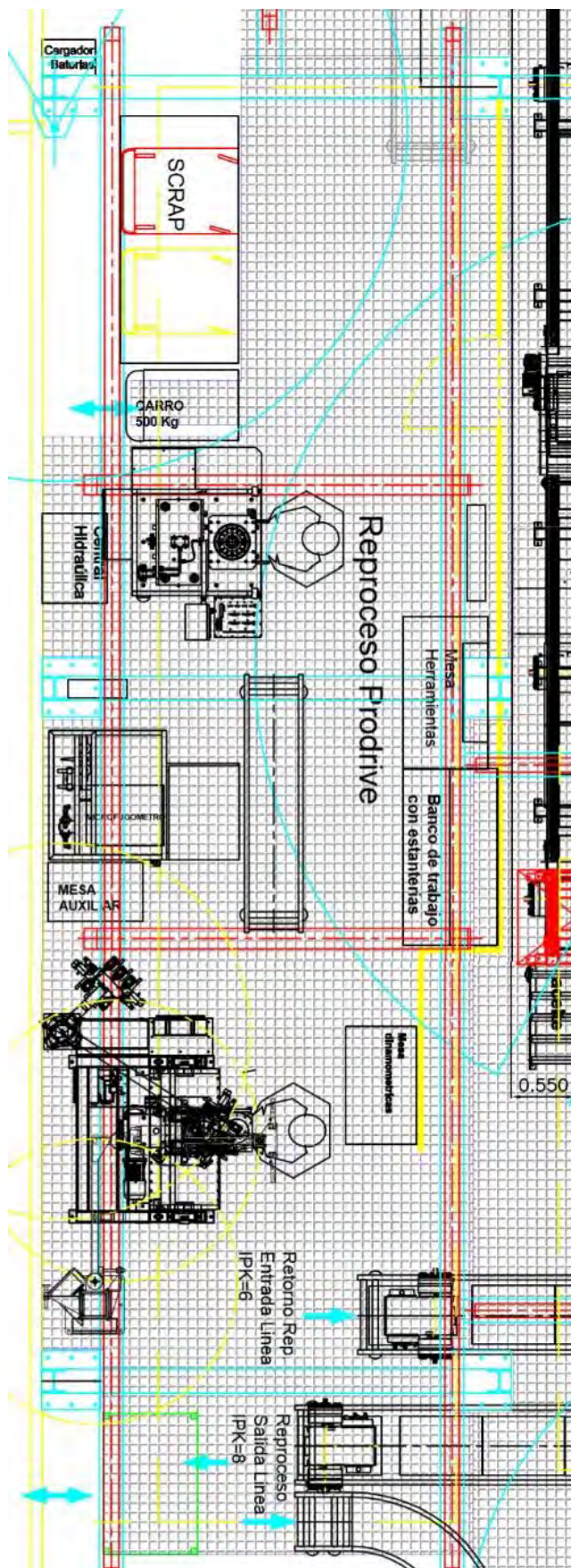


Figura 142: "Lay-out del puesto de reproceso tras la implementación de las propuestas de mejora"

8.2.7. Conclusiones de la propuesta de mejora del puesto de reproceso

Como puede observarse, se ha llevado a cabo un cambio significativo del puesto con el fin de asegurar las mejores condiciones de trabajo, así como satisfacer los criterios de calidad alcanzados en la línea de montaje. En base a los objetivos anteriormente presentados, con la modificación del puesto se logra:

Mantener la independencia de la estación de premontajes: con ello se asegura que la producción no se pueda ver afectada por el reproceso de premontajes en la cadena. Con la instalación de las herramientas necesarias para el reproceso de los premontajes se evita a su vez que productos defectuosos retornen a la línea de montaje.

Mejorar la ergonomía: el volteador, o banco de reproceso, proporciona una mejora en las condiciones de trabajo del puesto. Con el sistema automático de giro y volteo en dos ejes el reproceso de las transmisiones se agiliza, facilitando el acceso a los diferentes puntos de las cajas, permitiendo un posicionamiento más efectivo, facilitando así tanto la retirada de piezas como el montaje de las mismas.

La instalación de la herramienta eléctrica de apriete, junto con el brazo de reacción, se han diseñado cumpliendo con la normativa de ergonomía interna, suponiendo a su vez una mejora al eliminar los movimientos repetitivos en los aprietes por llave dinamométrica para altos pares de apriete.

Seguridad: con el sistema de posicionamiento horizontal de las transmisiones sobre el banco de volteo, se ha eliminado la situación de riesgo derivada de la anterior necesidad de voltear la transmisión en un pallet para poder cambiar el agarre a una posición vertical. Además los sistemas de seguridad integrados en el banco, como los sensores de posición, los sistemas de amarre de la transmisión, la fijación neumática o el posicionamiento de la botonera de actuación situada fuera de la zona de giro, eliminan situaciones de riesgo potencialmente peligrosas.

Calidad: siendo uno de los principales objetivos de mejora, la instalación del atornillador eléctrico unido al controlador certifican que todos los aprietes se han aplicado correctamente gracias a las diferentes secuencias, ligado al sistema de trazabilidad de la transmisión. Se eliminan a su vez las posibles situaciones de riesgo derivadas del retorno de piezas defectuosas a la línea y el empleo de llaves dinamométricas no exclusivas, es decir, empleadas variando los valores de par para cada apriete. Por último se asegura la trazabilidad del proceso de ensamblado de la transmisión en el puesto de reproceso, mantenido la capacidad que se tenía en la línea.

Productividad: se mejora la eficiencia del puesto de reproceso al disminuir los tiempos de manipulación de las transmisiones al tener que cambiar el agarre. Por otro lado se eliminan los movimientos de premontajes a la cadena y los posibles retrasos en la producción de premontajes y transmisiones. El banco de reproceso permite posicionar la transmisión del modo más adecuado para la realización del trabajo, sin necesidad de tener que cambiar el agarre de la caja.

Capítulo IX: Estudio económico y de inversión

En este capítulo se expone, por un lado, el resultado económico obtenido a partir de las medidas llevadas a cabo en la cadena de montaje. Para ello, se analizan los resultados obtenidos para los modos de fallos anteriormente descritos, calculando los costes derivados de cada uno a partir de los tiempos de reproceso más comunes y el precio de la mano de obra. A partir de estos datos se calcula el ahorro económico de la mejora llevada a cabo.

Posteriormente se presenta la inversión económica para la mejora del puesto de reproceso, y se desarrolla el estudio de tiempos para la amortización del equipo.

Por último se realiza un presupuesto sobre el coste de la realización del proyecto.

9.1. Estudio de la propuesta de mejora de la línea de montaje

Para la realización de los cálculos del estudio de mejora, se parte de la producción anual máxima para posteriormente, y en base a los porcentajes de transmisiones defectuosas y los costes de cada modo de fallo respecto al reproceso, obtener el ahorro por la disminución de las causas de fallo. Como se ha expuesto con anterioridad, en la línea de montaje se ensamblan diferentes modelos de transmisión, cada una con un tiempo diferente de montaje y unas causas de fallo variables. Por lo tanto, la siguiente estimación se realiza únicamente para la transmisión bajo estudio cuya producción es la más elevada al tener un menor tiempo estándar de montaje, suponiendo que a lo largo de un año solo se produce dicho modelo.

Se plantean unas suposiciones de partida que se mantendrán para el cálculo del ahorro:

- No se tienen en cuenta los gastos de material
- No se consideran aquellos casos en los que se produce el desgaste completo de la transmisión
- No se consideran los fallos por poros o fallos en las piezas de proveedor
- Las estimaciones de tiempo se realizan en función a los tiempos de línea
- El tiempo de movimiento de material se calcula en base a la situación del reproceso una vez implantado el plan de mejora

La transmisión ProDrive DE30056 tiene una producción máxima de 26 cajas al turno, 3 turnos por día y un total de 294 días hábiles. Con estos datos podemos calcular la producción máxima anual.

$$Total\ Cajas\ Anuales = 26 \frac{Cajas}{Turno} \cdot 3 \frac{Turnos}{Día} \cdot 294 \frac{Días}{Año} = 22932 \frac{Cajas}{Año}$$

En base a los datos anteriormente descritos, se puede estudiar la evolución del FPY y el porcentaje de transmisiones defectuosas con respecto a la producción.

$$FPY_{Octubre} = 82,23\%$$

$$Transmisiones\ defectuosas = 17,77\%$$

Con las mejoras propuestas e implantadas en la línea de montaje se cuantifican los siguientes resultados para el mes de marzo.

$$FPY_{\text{Marzo}} = 86,32\%$$

$$\text{Transmisiones defectuosas} = 13,68\%$$

Cabe destacar que durante el mes de febrero se obtuvieron mejores resultados que en el último mes de estudio, aunque se tomaran los datos expuestos para el estudio económico debido a la variabilidad existente.

A partir de los datos de las transmisiones ensambladas a lo largo de un año, se pueden obtener el número de cajas defectuosas que se obtendrían antes y después de las mejoras implantadas.

$$\text{Transmisiones defectuosas}_{\text{Octubre}} = 22932 \cdot \frac{17,77}{100} = 4075 \text{ transmisiones}$$

Así mismo, se puede calcular el número de transmisiones defectuosas obtenidas anualmente a partir de los datos alcanzados durante el mes de marzo:

$$\text{Transmisiones defectuosas}_{\text{Marzo}} = 22932 \cdot \frac{13,68}{100} = 3137 \text{ transmisiones}$$

Haciendo la diferencia entre ambos resultados se obtiene que se ha alcanzado una mejora de 938 transmisiones al año, partiendo de la hipótesis de que ambas situaciones se diesen de forma regular. A partir de estos resultados se puede obtener el valor económico de la mejora en función de los costes asociados al reproceso de cada modo de fallo presentado.

9.1.1. Fugas de diferencial

Los rechazos debidos a fugas de diferencial durante la entrada a producción del nuevo modelo ProDrive, supone el 51% de las transmisiones reprocesadas. A partir de la implantación de las medidas preventivas, se logra mensualmente una disminución de defectos relacionados con este modo de fallo, alcanzando un mínimo del 21% durante el mes de marzo. Sin embargo, como el proceso no se encuentra plenamente bajo control y existen fluctuaciones asociadas a causas no asignables, supondremos un error del 5% sobre la mejora.

A partir del número total de transmisiones rechazadas y el porcentaje de fugas en diferencial para la situación de partida, se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Fugas de Diferencial}_{\text{Octubre}} = 4075 \cdot \frac{51}{100} = 2078 \text{ transmisiones}$$

De igual modo se puede calcular el total de transmisiones rechazadas por fugas en diferencial para el porcentaje de fallos obtenidos con la mejora:

$$\text{Fugas de Diferencial}_{\text{Marzo}} = 3137 \cdot \frac{26}{100} = 815 \text{ transmisiones}$$

Por lo tanto, con respecto a las cajas que presentan este tipo de modo de fallo, se ha logrado un ahorro de 1263 transmisiones.

Para el cálculo económico será necesario obtener el coste del reproceso. Como se expuso anteriormente, los elementos implicados y las posibles causas de fallo son variables, por lo que estudiará la comprobación principal implicada en el 97% de las transmisiones estudiadas para este modo de fallo.

La tabla 27 recoge los tiempos aproximados a partir de los datos de cadena para el reproceso de la transmisión con fugas en diferencial.

En base a los tiempos estimados para el reproceso y el coste de mano de obra por hora se puede calcular el coste de reprocesar una transmisión.

$$\text{Coste Reproceso}_{\text{Fugas de Diferencial}} = 1,373 \text{ horas} \cdot 62 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 85 \text{ €}$$

Una vez calculado el coste del reproceso se calcula el coste asociado a ambas situaciones, antes y después de la mejora:

$$\text{Coste}_{\text{Inicial}} = 2078 \text{ transmisiones} \cdot 85 \text{ €} = 176630 \text{ €}$$

$$\text{Coste}_{\text{Final}} = 815 \text{ transmisiones} \cdot 85 \text{ €} = 69275 \text{ €}$$

Con lo que se consigue un ahorro de:

$$\text{Ahorro}_{\text{Fugas de Diferencial}} = 176630 \text{ €} - 69275 \text{ €} = 107355 \text{ €}$$

Tabla 27: "Tiempos estimados para el reproceso por fugas de diferencial"

Fugas de Diferencial	
Operaciones	Tiempo
Movimiento de material	5,587
Repetición Prueba Hidráulica	14,187
Desmontar	
Tornillos Freno	1,665
Freno	1,839
Tornillos Transportador	1,856
Transportador	1,734
Reprocesar	2,378
Movimientos	1
Montar	
Tórica Carcasa	0,377
Transportador	1,734
Tornillos Transportador	2,32
Tórica Transportador	0,23
Freno	1,839
Tornillos Freno	2,082
Prueba de Fugas	7
Repetir Prueba Hidráulica	14,188
Montaje MF6	20,133
Movimiento Material Rodar	2,253
Total (minutos)	82,402
Total (horas)	1,373

9.1.2. Fugas de aire

Los rechazos debidos a fugas de aire suponen la segunda causa de defecto en la línea de montaje. Durante el mes de septiembre el número de cajas rechazadas por fugas de aire era bajo, sin embargo, se produce un incremento del 8% durante el mes de noviembre. Con las mejoras implantadas los defectos por fugas de aire descienden del 20% al 10%. Al igual que en el caso anterior consideraremos un margen de fluctuación del 2%, diferencia dada entre los dos últimos meses.

Con el porcentaje de rechazos por fugas de aire para la situación más desfavorable, se obtiene el siguiente resultado:

$$Fugas\ de\ Aire_{\text{Noviembre}} = 4075 \cdot \frac{20}{100} = 815\ \text{transmisiones}$$

El número de transmisiones defectuosas en base a la mejora de montaje es de:

$$Fugas\ de\ Aire_{\text{Marzo}} = 3137 \cdot \frac{12}{100} = 376\ \text{transmisiones}$$

Con ello se logra una disminución de 439 transmisiones anuales con fugas de aire. Empero, a diferencia del resto de modos de fallo, las fugas de aire presentan una gran dispersión de causas; por ello analizaremos las principales causas expuestas con anterioridad.

9.1.2.1. Fugas de aire por tapa frontal

Esta causa de fallo supone el 39% de los rechazos por fugas de aire y se debe principalmente a la junta adhesiva situada entre dicha tapa y la carcasa. Dado que existe una variación mensual para cada modo de fallo, supondremos que los porcentajes relativos se mantienen a pesar de la disminución total de las fugas de aire.

Primero se calcula el número de transmisiones con fugas de aire por la tapa frontal para la situación del 20% de rechazos:

$$Fugas\ de\ Aire_{\text{Inicial Tapa}} = 4075 \cdot \frac{20}{100} \cdot \frac{39}{100} = 317\ \text{transmisiones}$$

Como en el resto de pruebas, se calcula a continuación el número de transmisiones con este fallo para la situación de mejora:

$$Fugas\ de\ Aire_{\text{Final Tapa}} = 3137 \cdot \frac{12}{100} \cdot \frac{39}{100} = 146\ \text{transmisiones}$$

La diferencia entre los resultados nos muestra una disminución de 171 transmisiones al año con fugas por la tapa frontal.

A continuación se calcula el coste del reproceso para este modo de fallo en relación al tiempo empleado (ver tabla 28) y el coste de la mano de obra:

$$Coste\ Reproceso_{\text{Fuga Tapa}} = 1,113\ \text{horas} \cdot 62\ \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 69\ \text{€}$$

Tabla 28: "Tiempos estimados para el reproceso por fugas de aire en la tapa frontal"

Fugas de Aire	
Operaciones	Tiempo
Movimiento de material	5,587
Repetición Prueba de Fugas	7
Desmontar	
Tornillos tapa frontal	1,458
Retirar tapa frontal	2,037
Limpiar superficie	1,575
Comprobación visual	1
Montar	
Cordón de silicona	0,695
Tapa frontal	2,037
Tornillos tapa frontal	1,822
Prueba de Fugas	7
Prueba Hidráulica	14,188
Montaje MF6	20,133
Movimiento Material Rodar	2,253
Total (minutos)	66,785
Total (horas)	1,113

Con estos resultados se evalúa el coste derivado y el ahorro alcanzado en base al coste del reproceso.

$$\text{Coste}_{\text{Inicial}} = 317 \text{ transmisiones} \cdot 69 \text{ €} = 21873 \text{ €}$$

$$\text{Coste}_{\text{Final}} = 146 \text{ transmisiones} \cdot 69 \text{ €} = 10074 \text{ €}$$

$$\text{Ahorro}_{\text{Fugas Tapa Frontal}} = 21873\text{€} - 10074\text{€} = 11799\text{€}$$

9.1.2.2. Fugas tapa cuerpo de válvulas

Las fugas entre la tapa en la que se fija el cuerpo de válvulas y la carcasa depende de la junta de estanqueidad y del material empleado. Como en el resto del proyecto, se parte de la suposición de que el material proveniente del proveedor es correcto, ya que un fallo en alguno de los elementos implicados supondría el desguace de la transmisión.

Las fugas de aire para este modo de fallo suponen el 22% de las causas de fuga. Al igual que en el caso de la tapa frontal partiremos de la suposición de que los porcentajes relativos se mantienen aunque el total de fallos disminuye. En base a esta hipótesis se calcula el número total de transmisiones para la situación de partida y la situación final:

$$\text{Fugas de Aire}_{\text{Inicial Tapa CV}} = 4075 \cdot \frac{20}{100} \cdot \frac{22}{100} = 197 \text{ transmisiones}$$

$$\text{Fugas de Aire}_{\text{Final Tapa CV}} = 3137 \cdot \frac{12}{100} \cdot \frac{22}{100} = 82 \text{ transmisiones}$$

Se logra una disminución de 115 transmisiones con fugas de aire por la tapa frontal. A partir del ahorro alcanzado se calcula el coste asociado al reproceso de cada transmisión en función de los valores de tiempo recogidos en la tabla 29:

$$\text{Coste Reproceso}_{\text{Fuga Tapa CV}} = 1,249 \text{ horas} \cdot 62 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 77 \text{ €}$$

Con el coste del reproceso en función del tiempo de trabajo se puede calcular el coste derivado de la situación de partida y el coste actual:

$$\text{Coste}_{\text{Inicial}} = 197 \text{ transmisiones} \cdot 77 \text{ €} = 15169 \text{ €}$$

$$\text{Coste}_{\text{Final}} = 82 \text{ transmisiones} \cdot 77 \text{ €} = 6314 \text{ €}$$

Por lo tanto se ha logrado un ahorro aproximado de:

$$\text{Ahorro}_{\text{Fugas Tapa CV}} = 15169\text{€} - 6314\text{€} = 8855 \text{ €}$$

Tabla 29: “Tiempos estimados para el reproceso por fugas de aire en la tapa del cuerpo de válvulas”

Fugas de Aire			
Operaciones	Tiempo	Operaciones	Tiempo
Movimiento de material	5,587	Montar	
Repetición Prueba de Fugas	7	Junta Tapa CV	0,125
Desmontar		Suplementos	0,108
Anillos elásticos	0,554	Guías Esclavas	0,107
Tapa Eje Entrada	0,385	Tapa CV	0,703
Pista Eje Entrada	0,417	Tornillos Tapa CV (13x)	3,432
Suplementos E.E.	0,108	Retirar Guías Esclavas	0,064
Tapa Eje Intermedio	0,385	Montar Guías	0,858
Pista Eje Intermedio	0,417	Tornillos Eje de Entrada	1,6
Suplementos E.I.	0,108	Suplementos E.I.	0,108
Tornillos Eje de Entrada	1,28	Pista Eje Intermedio	0,417
Tornillos tapa	2,745	Tapa Eje Intermedio	0,385
Retirar tapa CV	0,703	Suplementos E.E.	0,108
Retirar junta	0,125	Pista Eje Entrada	0,417
Suplementos	0,108	Tapa Eje Entrada	0,385
Guías	0,064	Anillos elásticos	0,554
Comprobación visual	1	Prueba de Fugas	7
Movimiento	1	Prueba Hidráulica	14,188
		Montaje MF6	20,133
		Movimiento Material Rodar	2,253
		Total (minutos)	74,931
		Total (horas)	1,249

9.1.2.3. Fuga de aire transportador/carcasa

Las transmisiones rechazadas por esta fuga suponen el 13% del total de rechazos por fugas de aire. Realizando el mismo análisis que en los casos anteriores se obtienen los siguientes resultados:

$$Fugas\ de\ Aire_{Inicial\ Transportador} = 4075 \cdot \frac{20}{100} \cdot \frac{13}{100} = 105\ transmissions$$

$$Fugas\ de\ Aire_{Final\ Transportador} = 3137 \cdot \frac{12}{100} \cdot \frac{13}{100} = 48\ transmissions$$

Se obtiene una mejora de 57 transmisiones anualmente. A continuación se calcula el coste asociado al reproceso para este modo de fallo en relación al tiempo recogido en la tabla 30:

$$Coste\ Reproceso_{Fuga\ Transportado} = 1,37\ horas \cdot 62 \frac{€}{hora} = 84\ €$$

Los costes asociados para la situación inicial y los costes de la situación final son:

$$Coste_{Inicial} = 105\ transmissions \cdot 84\ € = 8820\ €$$

$$Coste_{Final} = 48\ transmissions \cdot 84\ € = 4032\ €$$

Por lo tanto se consigue un ahorro de costes de:

$$Ahorro_{Fugas\ Transportador} = 8820€ - 4032€ = 4788\ €$$

Tabla 30: "Tiempos estimados para el reproceso por fugas de aire entre el transportador y la carcasa"

Fugas de Aire	
Operaciones	Tiempo
Movimiento de material	5,587
Repetición Prueba Hidráulica	14,187
Desmontar	
Tornillos Freno	1,665
Freno	1,839
Tornillos Transportador	1,856
Transportador	1,734
Reprocesar	2,378
Movimientos	1
Montar	
Tórica Carcasa	0,377
Transportador	1,734
Tornillos Transportador	2,32
Freno	1,839
Tornillos Freno	2,082
Prueba de Fugas	7
Repetir Prueba Hidráulica	14,188
Montaje MF6	20,133
Movimiento Material Rodar	2,253
Total (minutos)	82,172
Total (horas)	1,370

9.1.2.4. Fugas de aire freno de servicio

Suponen el 13% de las transmisiones rechazadas por fugas de aire. En base a los análisis anteriormente descritos, se obtienen los siguientes resultados para este modo de fallo:

$$Fugas\ de\ Aire_{Inicial\ Freno} = 4075 \cdot \frac{20}{100} \cdot \frac{13}{100} = 105\ transmissions$$

$$Fugas\ de\ Aire_{Final\ Freno} = 3137 \cdot \frac{12}{100} \cdot \frac{13}{100} = 48\ transmissions$$

Se consigue con ello disminuir en 57 las transmisiones con este tipo de defecto. Por otro lado, los costes de reproceso en base a los tiempos recogidos en la tabla 31 son:

$$Coste\ Reproceso_{Fuga\ Freno} = 1,24\ horas \cdot 62\ \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 76\ \text{€}$$

Los costes del reproceso en relación a la situación inicial y la final son los siguientes:

$$Coste_{Inicial} = 105\ transmissions \cdot 76\ \text{€} = 7980\ \text{€}$$

$$Coste_{Final} = 48\ transmissions \cdot 76\ \text{€} = 3648\ \text{€}$$

Con las medidas llevadas a cabo sobre la línea de montaje se logra un ahorro de:

$$Ahorro_{Fugas\ Freno} = 7980\text{€} - 3648\text{€} = 4332\ \text{€}$$

Tabla 31: "Tiempos estimados para el reproceso por fugas de aire entre el transportador y el freno"

Fugas de Aire	
Operaciones	Tiempo
Movimiento de material	5,587
Repetición Prueba Hidráulica	14,187
Desmontar	
Tornillos Freno	1,665
Freno	1,839
Reprocesar	2,378
Movimientos	1
Montar	
Tórica	0,23
Freno	1,839
Tornillos Freno	2,082
Prueba de Fugas	7
Repetir Prueba Hidráulica	14,188
Montaje MF6	20,133
Movimiento Material Rodar	2,253
Total (minutos)	74,381
Total (horas)	1,240

9.1.3. Lubricación frenos de servicio

Este modo de fallo supone el 19% de los rechazos en línea. Tras las medidas implantadas se alcanza una mejora del 14% de reducción, manteniendo durante los meses de febrero y marzo un 5% de rechazo sobre el total de transmisiones defectuosas. Dado que los resultados se han mantenido durante los últimos dos meses no se considerará variabilidad en este caso. A continuación se calculan el número de transmisiones rechazadas en base a los resultados de partida:

$$\text{Lubricación Frenos de Servicio}_{\text{Octubre}} = 4075 \cdot \frac{19}{100} = 774 \text{ transmisiones}$$

Con las mejoras implantadas se tienen:

$$\text{Lubricación Frenos de Servicio}_{\text{Marzo}} = 3137 \cdot \frac{5}{100} = 156 \text{ transmisiones}$$

La diferencia entre ambos resultados indica que se ha conseguido disminuir los rechazos por este tipo de fallo en 618 transmisiones.

En relación al coste del reproceso, los cálculos se realizan para el modo de fallo más común, relacionado con la ausencia o daño de las juntas tóricas de estanqueidad y los obturadores. Dado que la prueba no indica cuál de los sistemas ha fallado, lubricación superior o inferior, se considera que se tiene que realizar la comprobación de ambos (tabla 32). No se tienen en cuenta aquellas transmisiones desgazadas por daños en el transportador u otros elementos.

$$\text{Coste}_{\text{Lubricación Frenos}} = 1,72 \text{ horas} \cdot 62 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 106,64 \text{ €}$$

En base a la situación de partida se obtiene un coste anual de:

$$\text{Coste}_{\text{Inicial}} = 156 \text{ transmisiones} \cdot 106,64 \text{ €} = 82539 \text{ €}$$

Con la implantación de las mejoras llevadas a cabo en la línea se obtiene un coste anual de:

$$\text{Coste}_{\text{Final}} = 774 \text{ transmisiones} \cdot 106,64 \text{ €} = 16635 \text{ €}$$

Con ambos datos se puede calcular el ahorro alcanzado:

$$\text{Ahorro}_{\text{Lubricación Frenos}} = 82539 \text{ €} - 16635 \text{ €} = 65904 \text{ €}$$

Tabla 32: "Tiempos estimados para el reproceso de lubricación frenos de servicio"

Lubricación Frenos de Servicio			
Operaciones	Tiempo	Operaciones	Tiempo
Movimiento de material	5,587	Montar	
Repetición Prueba Hidráulica	14,187	Tórica Carcasa	0,754
Desmontar		Transportador	3,468
Tornillos Frenos	3,33	Tornillos Transportador	4,64
Frenos	3,678	Tórica Transportador	0,46
Tornillos Transportador	3,712	Freno	3,678
Transportador	3,468	Tornillos Freno	4,164
Reprocesar	6,84	Prueba de Fugas	7
Movimientos	2	Repetir Prueba Hidráulica	14,188
		Montaje MF6	20,133
		Movimiento Material Rodar	2,253
		Total (minutos)	103,540
		Total (horas)	1,726

9.1.4. Estanqueidad freno de aparcamiento

A diferencia del resto de acciones de mejora, la estanqueidad del freno de aparcamiento no presenta una tendencia a la baja debido a los fallos puntuales producidos durante el mes de febrero. Por ello se estudiará el ahorro en base a dos mejoras: la modificación del banco y el montaje de la junta de estanqueidad.

9.1.4.1. Modificación del banco de pruebas hidráulicas

Como se indicó en capítulos anteriores, se detecta desde la entrada en producción una variabilidad entre los bancos hidráulicos de la cadena y el puesto de reproceso. La modificación se realiza durante el periodo estival y en enero se observa una disminución del modo de fallo. Por lo tanto, el cálculo se basará en una aproximación de la disminución porcentual entre los meses de octubre y noviembre frente a los resultados de enero.

Durante la entrada en producción se observa que el 90% de las transmisiones rechazadas con respecto a este modo de fallo se deben a una variación entre los resultados de los bancos de ensayos. Por lo tanto, se parte de una situación inicial media del 9% y se alcanza una mejora del 5%. En base a estos resultados se calcula el número de transmisiones rechazadas; cabe destacar que a diferencia del resto de modos de fallo el porcentaje final se realiza en relación al total de rechazos del mes de enero.

$$Estanqueidad_{Inicial F.A.} = 4075 \cdot \frac{9}{100} = 366 \text{ transmisiones}$$

$$Transmisiones_{defectuosas Enero} = 22932 \cdot \frac{15,03}{100} = 3446 \text{ transmisiones}$$

$$Estanqueidad_{Enero F.A.} = 3446 \cdot \frac{4}{100} = 137 \text{ transmisiones}$$

Se logra una disminución de 229 transmisiones por estanqueidad freno de aparcamiento. La tabla 33 recoge el tiempo de repetición de la prueba a partir del cual se calcula el coste del reproceso.

$$Coste_{Estanqueidad F.A.} = 0,819 \text{ horas} \cdot 62 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 50 \text{ €}$$

A continuación se calcula el coste de la situación de partida y el coste alcanzado en el mes de enero.

$$Coste_{Inicial} = 366 \text{ transmisiones} \cdot 50 \text{ €} = 18300 \text{ €}$$

$$Coste_{Enero} = 137 \text{ transmisiones} \cdot 50 \text{ €} = 6850 \text{ €}$$

Con la modificación del banco se ha conseguido un ahorro de:

$$Ahorro_{Estanqueidad F.A.} = 18300 \text{ €} - 6850 \text{ €} = 11450 \text{ €}$$

Tabla 33: "Tiempos estimados para la repetición de pruebas en banco de reproceso"

Estanqueidad Freno de Aparcamiento	
Operaciones	Tiempo
Movimiento de material	5,587
Prueba de Fugas	7
Repetir Prueba Hidráulica	14,188
Montaje MF6	20,133
Movimiento Material Rodar	2,253
Total (minutos)	49,161
Total (horas)	0,819

9.1.4.2. Montaje junta de estanqueidad

Durante el mes de febrero se produce un incremento del rechazo de transmisiones por fallos en la estanqueidad del freno de estacionamiento. El estudio de las transmisiones determina que la junta no se había montado. Por lo tanto, se debe a un error puntual en el que se llevan a cabo una serie de medidas indicadas anteriormente. Con ello se logra pasar de un rechazo del 19% en el mes de febrero a un 10% durante el mes de marzo. Como en el caso anterior, será necesario calcular en primer lugar el total de transmisiones rechazadas en base a los resultados alcanzados en febrero:

$$Transmisiones\ defectuosas_{Febrero} = 22932 \cdot \frac{13,17}{100} = 3020\ transmisiones$$

A continuación se calcula el número de cajas respecto a la estanqueidad del freno de estacionamiento:

$$Estanqueidad_{Inicial\ F.A.} = 3020 \cdot \frac{19}{100} = 573\ transmisiones$$

Por otro lado se calcula el número de transmisiones para la situación final alcanzada tras la mejora en el mes de marzo:

$$Estanqueidad_{Inicial\ F.A.} = 3137 \cdot \frac{10}{100} = 317\ transmisiones$$

Por tanto, se han reducido en 256 las transmisiones rechazadas por este tipo de defecto.

En relación al coste, la tabla 34 recoge los tiempos estimados para el reproceso del presente modo de fallo. En base a dichos tiempos se calcula el coste asociado al reproceso:

$$Coste_{Estanqueidad\ F.A.} = 1,287\ horas \cdot 62 \frac{€}{hora} = 79\ €$$

Se pasa a calcular el coste asociado a ambas situaciones, inicial y final, para posteriormente calcular el ahorro alcanzado con la mejora:

$$Coste_{Febrero} = 573\ transmisiones \cdot 79\ € = 45267€$$

$$Coste_{Marzo} = 317\ transmisiones \cdot 79\ € = 25043€$$

Se consigue un ahorro de:

$$Ahorro_{Estanqueidad\ F.A.} = 45267€ - 25043€ = 20224€$$

Tabla 34: "Tiempos estimados para el reproceso por estanqueidad del freno de estacionamiento"

Estanqueidad Freno de Aparcamiento	
Operaciones	Tiempo
Movimiento de material	5,587
Repetición Prueba Hidráulica	14,187
Desmontar	
Tornillos freno estacionamiento (8x)	2,564
Tornillos freno estacionamiento(4x)	1,6176
Freno de estacionamiento	1,667
Movimiento	1
Montar	
Junta metálica	0,125
Freno de estacionamiento	1,667
Tornillos freno estacionamiento (8x)	3,205
Tornillos freno estacionamiento (4x)	2,022
Prueba de Fugas	7
Repetir Prueba Hidráulica	14,188
Montaje MF6	20,133
Movimiento Material Rodar	2,253
Total (minutos)	77,216
Total (horas)	1,287

9.1.5. Conclusiones del ahorro de la línea de montaje

La tabla 35 recoge el total del ahorro alcanzado con las mejoras implantadas en la cadena de montaje:

Tabla 35: "Ahorro económico tras las mejoras del proceso de montaje en cadena"

Modo de Fallo	Ahorro
Fugas de diferencial	107.355€
Fugas de aire tapa frontal	11.799€
Fugas de aire tapa cuerpo de válvulas	8.855€
Fugas de aire transportador	4.788€
Fugas de aire freno	4.332€
Lubricación freno de servicio	65.904€
Estanqueidad freno de aparcamiento	31.674€
Total	225.852€

Gracias a las mejoras implantadas y al trabajo diario de todos los miembros involucrados se consigue un ahorro de 225.852€ en relación al tiempo empleado para el reproceso de los principales modos de fallo.

9.2. Estudio de la propuesta de mejora del puesto de reproceso

9.2.1. Inversión del proyecto y justificación económica

La tabla 36 recoge la inversión total realizada en el puesto del reproceso:

Tabla 36: "Inversión del proyecto de mejora del puesto de reproceso"

Elemento	Inversión
Banco con volteador	29.000€
Conjunto atornillador	12.000€
Prensa	27.000€
Intervención banco de pruebas	15.000€
Lay-out	3.000€
Total	86.000€

Como se ha indicado a lo largo del proyecto, la justificación de la inversión se debe a las siguientes necesidades:

Calidad

Con la modificación del puesto de reproceso se busca mantener los niveles de calidad alcanzados en la línea de montaje, asegurando que las transmisiones reprocesadas cumplen todas las especificaciones del producto.

Con los cambios implementados en el puesto de reproceso se logran las siguientes mejoras:

- Eliminar situaciones de riesgo derivadas del movimiento de premontajes a la cadena para su reproceso. Con la instalación de la prensa de reproceso se elimina esta situación en la que un premontaje defectuoso se reintroduce en la línea, provocando posibles retrasos en la producción y situaciones de riesgo en la que un premontaje dañado pueda ser montado de nuevo en una transmisión, con el consiguiente riesgo de que el defecto llegue al cliente.
- Asegurar la trazabilidad. Con el nuevo sistema de trazabilidad, unido al sistema de apriete eléctrico instalado, se asegura que las transmisiones defectuosas derivadas al puesto de reproceso cumplen con la trazabilidad del producto asegurada en la línea de montaje. Los reprocesos, cambios de piezas y todos los pares de apriete quedan registrados y ligados al número de serie de la transmisión, permitiendo hacer el seguimiento del producto en caso de que fuese necesario.
- Asegurar los pares de apriete. El sistema de apriete eléctrico instalado asegura que los pares de apriete aplicados son los correctos, eliminando la dependencia de que el operario seleccione los valores de par en las llaves dinamométricas. Por otro lado, la herramienta permite un mayor control del par y diferentes secuencias de apriete. También asegura que todos los pares han sido dados y ninguna unión quede suelta.
- Evitar daños en los premontajes. En la situación de partida los premontajes se posicionaban en un carro en el que podían sufrir daños, provocando que la transmisión no cumpliese los estándares establecidos y el defecto pudiese llegar al cliente. Con la

instalación del camino de rodillos y los útiles específicos de posición se asegura que los premontajes se encuentren correctamente almacenados mientras el operario trabaja en la transmisión reduciendo la posibilidad de daños en los elementos.

Productividad

Con la modificación del puesto se busca, como se ha indicado anteriormente, mantener la independencia del reproceso con respecto a la cadena de ensamblado, con ello se logra aumentar por un lado la producción en la línea, al no producir retrasos en la misma por el reproceso de premontajes; por otro lado, se aumenta la eficiencia del puesto al disminuir los tiempos en movimientos, tanto de la transmisión para su posicionamiento y retirada del banco de reproceso, como los movimientos de premontajes a la línea.

A continuación se detalla el ahorro económico fruto de la actual capacidad del puesto de reproceso. Los datos expuestos son similares a los alcanzados en la cadena, por motivos de secreto industrial no pueden proporcionarse los resultados productivos reales.

Como se ha indicado anteriormente, con las modificaciones implantadas en el puesto de reproceso, éste cuenta con las herramientas necesarias para el reproceso de premontajes. Para el cálculo de ahorro económico alcanzado, en primer lugar se debe estudiar la situación de partida en base a los tiempos de producción y reproceso asociados.

La tabla 37 presenta el tiempo para la producción unitaria de cada premontaje. En base al tiempo unitario y la estimación del tiempo de reproceso se calcula el retraso producido en cada estación de premontaje y el número de piezas que se dejan de producir.

Tabla 37: "Tiempo de reproceso de premontajes para la situación de partida"

Transmisión DE30056	Montaje [min]	Tiempo Reproceso [min]	Retraso [min]	Piezas no producidas [unidades]
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	42,63	59,42	16,79	0,39
PREMONTAJE DIFERENCIAL	28,78	55,80	27,02	0,94
PREMONTAJE PARKING BRAKE	15,53	31,96	16,43	1,06
PREMONTAJE FLOR	7,33	16,67	8,52	0,52
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	5,04	13,08	8,03	1,59
PREMONTAJE FRENO 1º	12,07	25,73	13,66	1,13
PREMONTAJE FRENO 2º	12,07	25,73	13,66	1,13

Donde:

$$\text{Tiempo de reproceso} = (0,8 * \text{Tiempo de montaje}) + \frac{\text{Tiempo montaje}}{2} + \text{Movimientos}$$

$$\text{Retraso} = \text{Tiempo de montaje} - \text{Tiempo de reproceso}$$

$$\text{Piezas no producidas} = \frac{\text{Retraso}}{\text{Tiempo de montaje}}$$

Por otro lado se calcula el coste por tiempo asociado al reproceso de cada unidad (tabla 38)

Tabla 38: "Coste unitario de reproceso de premontajes para la situación de partida"

Transmisión DE30056	Horas Reproceso [horas/unidad]	Coste Mano de obra [€/hora]	Cote Reproceso [€/unidad]
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	0,99	62	122,80
PREMONTAJE DIFERENCIAL	0,93	62	115,32
PREMONTAJE PARKING BRAKE	0,53	62	66,06
PREMONTAJE FLOR	0,28	62	34,45
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	0,22	62	27,0
PREMONTAJE FRENO 1º	0,43	62	53,17
PREMONTAJE FRENO 2º	0,43	62	53,17

Donde:

$$\text{Coste de reproceso} = \text{Coste mano de obra} * \text{Horas de reproceso}$$

Se calcula a su vez, en base a la producción de la línea, el porcentaje de transmisiones defectuosas, el porcentaje de rechazos por fallo de premontaje y por último el tanto por ciento de fallo para cada premontaje. La tabla 39 recoge los resultados del análisis.

Tabla 39: "Unidades anuales con defecto en premontaje"

Transmisión DE30056	Transmisiones Rechazadas [unidades]	Rechazo por premontaje	Premontajes con defecto [unidades]	Premontajes con defecto	Fallos de premontajes [unidades]
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	3137	4%	125,48	10%	13
PREMONTAJE DIFERENCIAL	3137	4%	125,48	10%	13
PREMONTAJE PARKING BRAKE	3137	4%	125,48	50%	63
PREMONTAJE FLOR	3137	4%	125,48	10%	13
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	3137	4%	125,48	10%	13
PREMONTAJE FRENO 1º	3137	4%	125,48	5%	6
PREMONTAJE FRENO 2º	3137	4%	125,48	5%	6

En relación a los resultados representados en la tabla 39, los valores de producción máxima anual (22932 unidades) se encuentran calculados anteriormente. El número total de transmisiones defectuosas se calcula para los resultados obtenidos tras la mejora de la línea de montaje y suponen el 13,68% de la producción máxima anual. A continuación se detallan los datos de cada columna:

- Rechazo por premontaje: indica el porcentaje de transmisiones rechazadas por fallos en premontajes con respecto al total de unidades defectuosas
- Premontajes con defecto: indica el porcentaje de fallo sobre el total de transmisiones rechazadas por fallo en premontaje.
- Fallos de premontajes: indica el número total de unidades con fallo.

A partir del total de unidades defectuosas de premontajes y el coste asociado al tiempo de su reproceso, se calcula el coste económico anual (ver tabla 40).

Tabla 40: “Coste anual de reproceso de premontajes para la situación de partida”

Transmisión DE30056	Coste Anual
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	1.540,97 €
PREMONTAJE DIFERENCIAL	1.447,06 €
PREMONTAJE PARKING BRAKE	4.144,45 €
PREMONTAJE FLOR	432,28 €
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	339,11 €
PREMONTAJE FRENO 1º	333,61 €
PREMONTAJE FRENO 2º	333,61 €
Total	8.571,08 €

Por lo tanto se tiene un coste anual de reproceso de premontajes de 8.571,08€ y 125 unidades de premontajes con algún tipo de defecto.

También hay que calcular el coste de las unidades de premontajes que se dejan de producir por el retraso producido en la cadena. La tabla 41 recoge los resultados obtenidos:

Tabla 41: “Unidades de premontajes no producidos para la situación de partida”

Transmisión DE30056	Montaje [horas]	Piezas no producidas [unidades]	Fallos de premontajes [unidades]	Premontajes no producidos [unidades]	Coste de piezas no producidas
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	0,71	0,39	13	5	217,70 €
PREMONTAJE DIFERENCIAL	0,48	0,94	13	12	350,38 €
PREMONTAJE PARKING BRAKE	0,26	1,06	63	66	1.065,06 €
PREMONTAJE FLOR	0,12	0,52	13	7	49,71 €
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	0,08	1,59	13	20	104,17 €
PREMONTAJE FRENO 1º	0,20	1,13	6	7	88,54 €
PREMONTAJE FRENO 2º	0,20	1,13	6	7	88,54 €

Donde:

$$\text{Retraso premontajes} = \text{Piezas no producidas} * \text{Fallos de premontajes}$$

$$\text{Coste piezas no producidas} = \text{Tiempo de montaje} * \text{Retraso premontajes} * 62\text{€/hora}$$

En la tabla 42 se presenta el coste asociado al número de unidades que no se producen. Cabe destacar que para el cálculo indicado se considera el tiempo de producción de las unidades no producidas como un gasto ya que deriva en una disminución de la producción y retrasos en el cliente.

Tabla 42: "Coste anual de premontajes no producidos para la situación de partida"

Transmisión DE30056	Coste Anual
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	217,70 €
PREMONTAJE DIFERENCIAL	350,38 €
PREMONTAJE PARKING BRAKE	1.065,06 €
PREMONTAJE FLOR	49,71 €
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	104,17 €
PREMONTAJE FRENO 1º	88,54 €
PREMONTAJE FRENO 2º	88,54 €
Total	1.964,12 €

A estos cálculos se deben sumar el número de transmisiones que se dejan de producir por retrasos en la cadena de producción. La tabla 43 representa los resultados obtenidos al año:

Tabla 43: "Unidades de transmisiones no producidos para la situación de partida"

Transmisión DE30056	Montaje [min]	Retraso [min]	Premontajes no producidos [unidades]	Retraso en cadena	Transmisiones no producidas [unidades]
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	42,63	16,79	5	1,11	5
PREMONTAJE DIFERENCIAL	28,78	27,02	12	1,18	14
PREMONTAJE PARKING BRAKE	15,53	16,43	66	1,11	74
PREMONTAJE FLOR	7,33	8,52	7	1,06	7
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	5,04	8,03	20	1,05	21
PREMONTAJE FRENO 1º	12,07	13,66	7	1,09	8
PREMONTAJE FRENO 2º	12,07	13,66	7	1,09	8
MONTAJE FINAL Y PRUEBA	150,25				

Donde:

$$\text{Retraso en cadena} = \frac{\text{Tiempo montaje final} + \text{Tiempo retraso premontaje}}{\text{Tiempo montaje final}}$$

$$\text{Transmisiones no producida} = \text{Retraso en cadena} * \text{Premontajes no producidos}$$

Con estos datos se puede calcular el coste asociado el número de transmisiones que se dejan de producir por el retraso de la cadena asociado al reproceso de premontajes. La tabla 44 representa los resultados obtenidos.

Tabla 44: "Coste anual de transmisiones no producidos para la situación de partida"

Transmisión DE30056	Transmisiones no producidas [unidades]	Coste Retraso Cadena
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	5	946,97 €
PREMONTAJE DIFERENCIAL	14	2.396,15 €
PREMONTAJE PARKING BRAKE	74	12.686,23 €
PREMONTAJE FLOR	7	1.194,64 €
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	21	3.630,25 €
PREMONTAJE FRENO 1º	8	1.334,69 €
PREMONTAJE FRENO 2º	8	1.334,69 €
Total	136	21.189,82 €

Se dejan de producir un total de 136 transmisiones anualmente con un coste en tiempo de 21.189,82€.

La tabla 45 resume los costes asociados a la situación de partida del puesto de reproceso:

Tabla 45: "Coste anual total para la situación de partida"

Costes de reproceso de premontajes	8.571,08 €
Costes por premontajes no producidos	1.964,12 €
Costes por transmisiones no producidas	21.189,82 €
Total	31.725,02 €

A continuación se calculan los resultados obtenidos tras la modificación del puesto de reproceso (ver tabla 46). Dado que se han eliminado los tiempos de manipulación por el movimiento de los premontajes a la cadena, se produce una disminución del tiempo de reproceso y por lo tanto del coste asociado al mismo.

Tabla 46: "Tiempo de reproceso de premontajes para la situación final"

Transmisión DE30056	Montaje [min]	Tiempo Reproceso [min]	Retraso [min]	Piezas no producidas [unidades]
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	42,63	55,42	0,00	0,00
PREMONTAJE DIFERENCIAL	28,78	37,41	0,00	0,00
PREMONTAJE PARKING BRAKE	15,53	20,20	0,00	0,00
PREMONTAJE FLOR	7,33	9,53	0,00	0,00
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	5,04	19,07	0,00	0,00
PREMONTAJE FRENO 1º	12,07	6,56	0,00	0,00
PREMONTAJE FRENO 2º	12,07	15,69	0,00	0,00

Dado que los premontajes con la mejora del puesto no se derivan a la cadena para su reproceso, no se produce un retraso en la producción de los premontajes al realizarse dichas operaciones en el puesto de reproceso.

Al igual que para la situación de partida, se calcula el coste del reproceso asociado al tiempo de trabajo (tabla 47).

Tabla 47: "Coste unitario de reproceso de premontajes para la situación final"

Transmisión DE30056	Horas Reproceso [horas/unidad]	Coste Mano de obra [€/hora]	Cote Reproceso [€/unidad]
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	0,92	62	57,27 €
PREMONTAJE DIFERENCIAL	0,62	62	77,31 €
PREMONTAJE PARKING BRAKE	0,34	62	41,74 €
PREMONTAJE FLOR	0,28	62	34,45 €
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	0,32	62	39,41 €
PREMONTAJE FRENO 1º	0,11	62	13,55 €
PREMONTAJE FRENO 2º	0,26	62	32,43 €

Se mantienen los porcentajes de fallo para el total de transmisiones defectuosas y los premontajes con fallo. En base a estos datos y al coste unitario del reproceso se calcula el coste anual de reproceso de premontajes para la situación final, recogidos en la tabla 48.

Tabla 48: "Coste anual de reproceso de premontajes para la situación final"

Transmisión DE30056	Fallos de premontajes [unidades]	Coste Reproceso [€/unidad]	Coste anual del reproceso
PREMONTAJE EJE DE ENTRADA	13	57,27 €	718,60 €
PREMONTAJE DIFERENCIAL	13	77,31 €	970,15 €
PREMONTAJE PARKING BRAKE	63	41,74 €	2.618,54 €
PREMONTAJE FLOR	13	34,45 €	432,26 €
PREMONTAJE EJE INTERMEDIO	13	13,55 €	169,99 €
PREMONTAJE FRENO 1º	6	32,43 €	203,47 €
PREMONTAJE FRENO 2º	6	32,43 €	203,47 €
		Total	5.316,48 €

Dado que los premontajes no se mandan a la cadena de montaje tampoco se producen retrasos en la producción de transmisiones.

Para el cálculo final del ahorro se suma el coste de la situación de partida y se resta el coste actual del reproceso de los premontajes. Los resultados de ahorro con la implementación de la mejora del puesto quedan recogidos en la tabla 49.

Tabla 49: "Ahorro total anual para el reproceso de premontajes en puesto de reproceso"

Costes de reproceso de premontajes situación de partida	8.571,08 €
Costes por premontajes no producidos	1.964,12 €
Costes por transmisiones no producidas	21.189,82 €
Coste de reproceso premontajes situación final	-5.316,48€
Ahorro total anual	26.408,53 €

Este cálculo se debe a que los costes de la situación de partida son eliminados con la modificación del puesto de reproceso, considerándose por lo tanto como un ahorro. Así mismo, dado que se sigue produciendo un reproceso de premontajes se debe de restar este coste actual al ahorro alcanzado.

En relación a la producción, con la modificación del puesto se eliminan los siguientes movimientos:

- Movimiento de la transmisión del camino de rodillos (IPK de reproceso) a la zona de volteo
- Cambio del gancho de manipulación en la zona de volteo
- Movimiento de la transmisión de la zona de volteo al banco de reproceso
- Fijación manual de las tuercas de sujeción de la transmisión

Una vez reprocesada la transmisión, se eliminan los siguientes movimientos:

- Retirada manual de los elementos de fijación de la transmisión al banco de reproceso
- Movimiento de la transmisión del banco de trabajo a la zona de volteo
- Cambio de gancho de manipulación para su traslado al camino de rodillos en posición horizontal.
- Movimiento de la transmisión de la zona de volteo al camino de rodillos de rodadura (IPK de rodadura)

Se consigue un ahorro estimado de 10 minutos por cada transmisión reprocesada. Esto se traduce en un aumento de la producción de transmisiones reprocesadas. En base a estos resultados, y los tiempos de reprocesos indicados con anterioridad, se calcula el tiempo de reproceso para cada modo de fallo anteriormente estudiado para la situación de partida y los resultados obtenidos tras la modificación del puesto de reproceso (ver tabla 50).

Tabla 50: "Estimación de tiempo de reproceso para cada modo de fallo en la situación de partida y final"

Modo de fallo	Tiempo de reproceso (Situación de partida) [horas]	Tiempo de reproceso (Situación final) [horas]
Fugas de Diferencial	1,545	1,373
Lubricación Frenos de servicio	1,891	1,720
Estanqueidad Freno de aparcamiento	1,451	1,280
Fugas tapa frontal	1,284	1,113
Fugas aire Tapa CV	1,421	1,250
Fuga transportador/Carcasa	1,541	1,370
Fugas Freno de servicio	1,411	1,240

Como en el cálculo de la mejora del proceso de montaje, se calcula el número de unidades defectuosas para cada modo de fallo (ver tabla 51).

Tabla 51: “Unidades defectuosas anuales para cada modo de fallo”

Modos de fallo	Transmisiones Rechazadas [unidades]	% Modo de fallo	Total de rechazos [unidades]
Fugas de Diferencial	3137	26,0%	816
Lubricación Frenos de servicio	3137	5,0%	157
Estanqueidad Freno de aparcamiento	3137	15,0%	471
Fugas tapa frontal	3137	4,7%	147
Fugas aire Tapa CV	3137	2,6%	83
Fuga transportador/Carcasa	3137	1,6%	49
Fugas Freno de servicio	3137	1,6%	49

Con los tiempos de reproceso y el número de unidades defectuosas para cada modo de fallo, se calcula el ahorro alcanzado por la disminución del tiempo de manipulación (ver tabla 52).

Tabla 52: “Ahorro total anual por la disminución de los tiempos de manipulación”

Modos de fallo	Total de rechazos [unidades]	Tiempo de reproceso (Situación de partida) [horas]	Tiempo de reproceso (Situación final) [horas]	Ahorro anual
Fugas de Diferencial	816	1,545	1,373	8.662,64 €
Lubricación Frenos de servicio	157	1,891	1,720	1.665,89 €
Estanqueidad Freno de aparcamiento	471	1,451	1,280	4.997,68 €
Fugas tapa frontal	147	1,284	1,113	1.559,28 €
Fugas aire Tapa CV	83	1,421	1,250	879,59 €
Fuga transportador/Carcasa	49	1,541	1,370	519,76 €
Fugas Freno de servicio	49	1,411	1,240	519,76 €
			Total	18.804,60 €

$$\text{Ahorro} = \text{Unidades rechazadas} * \frac{62\text{€}}{\text{hora}} * (\text{Tiempo}_{\text{Inicial}} - \text{Tiempo}_{\text{Final}})$$

Se produce un ahorro anual por la reducción del tiempo de manipulación de 18.804,60€.

Ahorro total anual

Con la modificación del puesto de reproceso se consigue un ahorro estimado de 45.213,13€ anuales (ver tabla 53).

Tabla 53: "Ahorro total anual con la implementación de mejora del puesto de reproceso"

Ahorro por reproceso de premontajes	26.408,53 €
Ahorro por disminución del tiempo de manipulación	18.804,60 €
Total	45.213,13 €

En la compañía se pide un retorno sobre la inversión menor a dos años para poder realizar el proyecto. Para el caso de la modificación del puesto de reproceso se tiene que:

$$\text{Retorno sobre la inversión} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio}} = \frac{86.000\text{€}}{45.213\text{€/año}} = 1,9 \text{ años}$$

Se puede realizar la inversión ya que la amortización se produce en un periodo inferior a dos años.

Seguridad

Desde el punto de vista de la seguridad, la ejecución del plan de mejora del puesto de reproceso supone los siguientes avances:

- Eliminación de situaciones de riesgo. Con la implantación de la propuesta de mejora del puesto de reproceso y el nuevo banco de trabajo se elimina la necesidad de voltear la transmisión para el cambio de agarre. Como se expuso con anterioridad, en la situación de partida era necesario mover la transmisión del camino de rodillos a la zona de volteo para cambiar el agarre y poder posicionar la transmisión en el banco de trabajo; esta operación suponía una grave situación del riesgo por el peligro de atrapamiento en caso de que la transmisión (de más de 420 Kg) cayese sobre el trabajador.
- Mejora de la ergonomía. El banco de volteo se ha diseñado en base a la normativa interna de ergonomía, mejorando de este modo la situación de trabajo al asegurar unas alturas y dimensiones del puesto óptimas para el operario y eliminar movimientos repetitivos a alturas incorrectas.

La instalación del sistema de apriete eléctrico también supone un avance en ergonomía al eliminar operaciones de apriete con movimientos repetitivos y con grandes fuerzas (pares de hasta 370 Nm).

9.3. Coste de la realización del estudio de la propuesta de mejora

A continuación, en la tabla 54, se presenta el presupuesto del coste asociado a la realización del análisis de propuesta de mejora recogido en el presente proyecto:

Tabla 54: "Presupuesto de realización del proyecto"

Presupuesto "Análisis y propuesta de mejora del proceso de montaje de una transmisión de vehículo agrícola"					
Material					
Artículo	Cantidad	Uso	Coste Unitario	IVA	Coste Total
Ordenador	1	50%	624,79 €	21%	378,00 €
Memoria Flash	1	75%	12,64 €	21%	11,47 €
Impresiones	512	100%	0,03 €	21%	18,59 €
CD	5	100%	0,15 €	21%	0,91 €
Office 365 (Licencia 1 año)	1	50%	117,60 €	21%	71,15 €
Siemens Teamcenter Visualization Mockup (Licencia 1 año)	1	75%	521,40 €	21%	473,17 €
Cuaderno de notas	1	50%	3,73 €	21%	2,26 €
Encuadernación	2	100%	10,00 €	21%	24,2 €
Total					979,74 €
Mano de Obra					
Acción	Días de proyecto	Ocupación (horas/día)	Horas empleadas	Coste por hora	Coste Total
Recopilación de datos	77	1	77	20	1.540,00 €
Recopilación de información y análisis	77	4	308	20	6.160,00 €
Redacción de la memoria	77	3	231	20	4.620,00 €
Total					12.320,00 €
Presupuesto Global					
Coste de material					979,74 €
Coste mano de obra					12.320,00 €
Total					13.299,74 €

Capítulo X: Conclusiones y actuaciones futuras

10.1. Conclusiones

Como se indicó al comienzo de la memoria, el presente proyecto tenía por meta el cumplimiento de dos objetivos principales:

- Analizar una transmisión de vehículo agrícola, adaptar su proceso de montaje y proponer mejoras del mismo.
- Mejorar el puesto de reproceso de la cadena de montaje.

Llegados al final de este trabajo y según los indicadores de eficiencia seleccionados, se puede afirmar que estos objetivos se han cumplido a plena satisfacción.

A continuación se detallan cada uno de los objetivos planteados al inicio de este proyecto, con las acciones llevadas a cabo para el cumplimiento de los mismos:

1.-Plan de mejora del proceso de montaje

- Se ha documentado el funcionamiento de la transmisión. Para ello se han realizado ayudas visuales acompañadas de una descripción funcional de cada circuito de activación de la transmisión, referenciando cada elemento implicado y las condiciones de operación.
- Se ha documentado el proceso de ensamblado de la transmisión para cosechadora ProDrive DE30056 mediante la realización de las hojas de datos mecánicos que exponen de forma gráfica, descriptiva y ordenada los pasos a seguir para el correcto montaje de la transmisión. Se han actualizado a su vez la documentación del resto de modelos con el fin de extender la mejora al resto de productos.
- Con la entrada en producción del modelo DE30056 se realiza la toma de tiempos de todas las operaciones de ensamblado para la realización del estandar de montaje y el equilibrado de la línea, realizado por los ingenieros de producción.
- Para el estudio de las causas de fallo se realiza un seguimiento diario de la producción y las transmisiones rechazadas. Cada caja retirada de la línea es analizada y estudiada, recopilando para cada número de serie y modo de fallo los resultados obtenidos antes y después del reproceso en los bancos de prueba. Se recopila la información de dichos resultados y las causas de fallo con el fin de determinar para cada modo de fallo las principales causas del defecto y los valores obtenidos de las mediciones.
- Durante las pruebas de ensamblado de los prototipos del nuevo modelo bajo estudio se comienza a realizar el análisis modal de fallos y efectos de proceso, que se mantendrá a lo largo de la vida de producción de la transmisión. El AMFE se actualiza mediante reuniones periódicas entre los departamentos implicados y en base a los resultados obtenidos en la cadena. Los estudios de producción, porcentaje de rechazos

y causas de fallo se emplean como entrada de datos, actualizando los índices de ocurrencia y detección.

- Como fuente de información para la documentación de la detección de las diferentes causas de fallo, se realizan los modos de fallo en banco. En dichos ensayos se provoca (simulando daños en cadena o falta de piezas) y documenta cada posible causa de fallo, proporcionando de esta manera información acerca de la detección de la línea.
- En base a los resultados obtenidos de las principales causas de fallo y la valoración del análisis modal de fallos y efecto se toman las medidas recogidas en la memoria, a fin de disminuir los defectos en el proceso de montaje y mejorar el FPY.

Como se ha detallado en el capítulo IX, con las medidas implementadas se logra un ahorro económico aproximado en tiempo de reproceso y mano de obra de 225.852€, reduciendo las transmisiones con algún tipo de defecto del 17,77% inicial a un 13,68% con respecto al total de transmisiones ensambladas en cadena.

2.-Ejecución del plan de mejora del puesto de reproceso

Para la mejora del puesto de reproceso se han implementado las siguientes acciones:

- Instalación de un banco de trabajo automático con volteo en dos ejes. El nuevo banco para el reproceso de transmisiones está diseñado según la normativa interna JDS-D86: “Pautas de diseño ergonómico para la fabricación”, asegurando de este modo que el trabajo se realiza a la altura más adecuada y con el espacio de trabajo correcto.

Se elimina la situación de riesgo derivada del antiguo sistema de anclaje por tornillos. El banco de trabajo cuenta con cuatro abrazaderas y sensores de posición que aseguran que la transmisión está correctamente amarrada al banco. También se suprime la potencial situación de riesgo derivada del cambio de gancho para el correcto posicionamiento en el banco; con el nuevo sistema, la transmisión se manipula directamente del camino de rodillos donde se encuentra hasta el banco sin necesidad de cambios de agarre.

El banco permite voltear la transmisión 90º para posicionarla vertical u horizontalmente. Por otro lado, el nuevo medio de accionamiento proporciona la capacidad de rotar 360º la transmisión en cualquiera de las dos posiciones (vertical u horizontal) mejorando así el acceso a la caja y favoreciendo el trabajo sobre la misma.

- Instalación de un sistema de apriete eléctrico. El conjunto está diseñado según la normativa interna de ergonomía citada anteriormente. Este nuevo sistema con brazo de reacción y suspensión neumática elimina movimientos repetitivos de aplicación de pares de apriete; también suprime los esfuerzos sobre el cuerpo realizados al aplicar los elevados pares de hasta 370 Nm.

El nuevo sistema de apriete supone un avance en la calidad de las transmisiones reprocesadas al asegurar que todas las uniones roscadas han sido apretadas y los pares se encuentran dentro de los márgenes de diseño, gracias a las secuencias de apriete del controlador de la herramienta eléctrica.

Con el conjunto de apriete eléctrico unido a la adaptación del banco de pruebas hidráulicas a dicho sistema se asegura la trazabilidad de la transmisión y los premontajes reprocesados. Toda la información de actuaciones sobre algún elemento quedan registrados al número identificativo de la unidad, así como los valores de los pares de apriete aplicados.

- En el puesto se instala una prensa hidráulica para el reproceso de premontajes. Con este sistema, unido al conjunto de apriete eléctrico, la estación cuenta con la capacidad para el reproceso de premontajes defectuosos. Estas herramientas otorgan al puesto una independencia con respecto a la cadena de producción, eliminando la necesidad de mover los premontajes a la línea para su reprocesado, y las inherentes situaciones de riesgo de calidad de este proceso.
- En relación a la productividad del puesto, con la propuesta de mejora implementada se reducen los tiempos de reproceso al eliminar los movimientos de volteo para el cambio de amarre de la transmisión anteriormente descritos; a su vez, al contar el puesto con los medios necesarios para el reproceso de premontajes, éstos dejan de enviarse a la cadena, reduciendo de este modo los tiempos de manipulación y los posibles retrasos en el ensamblado, tanto de premontajes como de transmisiones.

En relación a estos puntos, y como puede observarse en el capítulo IX, se produce un ahorro anual estimado de 26.408,53€ por la eliminación de los retrasos causados por el reproceso de premontajes en la cadena; por otro lado, se alcanza un ahorro aproximado de 18.804,60€ por la reducción de los tiempos de manipulación en el puesto de reproceso.

- Con el fin de agilizar el análisis de los modos de fallo y las tareas de reproceso, se realiza una serie de documentos (ver capítulo VIII) en la que se exponen de manera gráfica los circuitos de activación ensayados en el banco hidráulico y los elementos que pueden afectar en el funcionamiento incorrecto del mismo; se realiza un manual de reproceso en el que se indican los pasos a seguir para el reproceso recomendado de los principales modos de fallo.

10.2. Acciones futuras

Como se ha expuesto a lo largo del proyecto, en todo proceso se debe de buscar la mejora continua. Las acciones llevadas a cabo para la mejora del proceso de montaje solo suponen algunas de las mejoras implantadas, pero el trabajo debe de ser diario y perdurar en el tiempo, realizando un seguimiento de la producción y de las causas de fallo a lo largo de la vida productiva del producto ya que siempre surgen nuevas fuentes de error que deben de ser subsanadas.

El estudio y análisis realizado sobre el proceso de ensamblado de la transmisión ProDrive DE30056 sienta las bases para seguir trabajando en la mejora del montaje. A continuación se detallan algunas actuaciones futuras:

- Ensayo del premontaje del freno de estacionamiento. A diferencia del eje de entrada o el diferencial, el freno de estacionamiento no se prueba antes de montarse sobre la transmisión. Un fallo en este elemento puede suponer el desguace completo de la

transmisión con el consiguiente coste asociado. Es conveniente realizar un estudio de viabilidad de pruebas funcionales y de estanqueidad.

- Implementación de ayudas visuales en la cadena. Como se ha expuesto, cada puesto cuenta con las ayudas de montaje (hojas de datos mecánicos) para la consulta del proceso, sin embargo, estas ayudas no están a la vista y el operario debe acudir a la carpeta de documentación para su comprobación. Se propone implementar ayudas visuales a gran tamaño y en situación visible en cada puesto, indicando el orden de montaje por explosionado, indicando la referencia de cada elemento y los pares de apriete o aplicación de adhesivos.
- Ampliar la documentación funcional y descriptiva al resto de modelos productivos.

En relación a la implementación del proceso de mejora en el puesto de reproceso, es importante seguir trabajando en el mismo a fin de igualar dicha estación a la cadena de producción, mejorando las condiciones de trabajo y asegurando la máxima calidad. El presente proyecto ha supuesto un paso en el camino de mejora continua y calidad total perseguido. A continuación se presentan algunas acciones futuras de actuación.

- Instalación de un volteador para transportador. A diferencia de las estaciones de montaje 1 y 2, o el puesto de premontaje de los transportadores, el puesto de reproceso no cuenta con un volteador para la manipulación de los transportadores. Como se ha expuesto en la presente memoria, estos elementos se instalan con el fin de asegurar el correcto asentamiento de las juntas tóricas de estanqueidad, así como los tapones y engrasadores de los circuitos de lubricación o bloqueo del diferencial.
- Instalación de un aplicador neumático de silicona. Para disminuir las fugas de aire por la tapa frontal, asegurar la estanqueidad del sistema y mejorar la aplicación de la junta adhesiva, se instala un dispensador neumático en la línea de montaje; sin embargo, el puesto de reproceso no cuenta con este medio de aplicación. Un exceso de adhesivo puede provocar obturaciones en los circuitos internos de funcionamiento de la transmisión y disminuir la vida de la caja. Por otro lado, un defecto provocaría fugas de aire que serían detectadas, llevando a reprocesar repetidamente la transmisión.
- Realización de ayudas visuales de los principales modos de fallo. Como se ha expuesto, se realizan explosionados de cada estación de montaje que se incluyen en las hojas de datos mecánicos, empleadas a su vez en el reproceso, junto con ayudas visuales de los circuitos de activación y funcionamiento de la transmisión, indicando los elementos implicados y posibles causas de fallo. Se plantea la realización de explosionados del proceso de desmontaje, comprobación y montaje específicos de cada modo de fallo.
- Ampliar la documentación de ayuda para el reproceso al resto de modelos productivos.
- Con la modificación del puesto y la nueva capacidad para el reproceso de premontajes, se debe de realizar documentación nueva que resuma, como en el caso de los modos de fallo de la transmisión, los pasos a seguir para su correcto reproceso, indicando los elementos implicados, el proceso de montaje y desmontaje, los valores de par o las herramientas y útiles a emplear en la prensa.

Bibliografía

Libros y otros recursos monográficos

Águeda Casado, Eduardo, y otros. 2002. *Fundamentos tecnológicos del automóvil*. Madrid : EDICIONES PARANINFO S.A., 2002. pág. 328. ISBN 9788497320849.

Arias-Paz Guitan, Manuel. 2004. *Manual de automóviles*. 55ª. Madrid : CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT 2000 S.L., 2004. pág. 1200. ISBN 9788496437388.

Pérez Díaz, José Luis; Palacios Cuenca, Sebastián. 2006. *Expresión gráfica en la ingeniería. Introducción al dibujo industrial*. Madrid PEARSON EDUCACIÓN S.A., 2006. pág. 180. ISBN 8420550906.

Nieto del Mármol, Silvia. 2003. *JOHN DEERE IBÉRICA 50 años juntos Historia de un líder*. Madrid : Javelcom Gráfica, 2003. pág. 212.

2012. *Tecnología de materiales. Tema 9: Técnicas de unión*. Leganés : Universidad Carlos III, 2012.

Morales Heras, Mónica. 2006. *Laboratorio de tecnologías IV: Uniones mecánicas*. Leganés : Universidad Carlos III, 2006.

Atlas Copco. *Técnicas de apriete*. pág. 97.

Madrid Vega, Mario, y otros. 2000. *Tecnología de la adhesión*. Madrid : Departamento Técnico de Loctite España, 2000. pág. 294.

Loctite. 2011. *Soluciones para la industria: adhesivos de ingeniería, selladores y productos para el tratamiento de superficies*. Barcelona : Henkel Ibérica S.A., 2011.

2009. *Expresión gráfica en la ingeniería. Tema 10: Representación normalizada de elementos básicos*. Leganés : Universidad Carlos III, 2009.

2009. *Dibujo industrial. Tema 4: Representaciones específicas*. Universidad de Castilla-La Mancha, 2009.

Bestratén Belloví, Manuel, Mª Orriols Ramos, Rosa y Mata París, Carles. 2004. *NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos*. AMFE. s.l. : Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2004.

Andrino Cebrián, Juan Antonio. 2011. *Mecánica y entretenimiento simple del automóvil*. Madrid : Dirección General de Tráfico, 2011.

Desoutter. 2013. *Industrial tools*. 2013.

Lavado Gómez, Gonzalo. 2013. *Diseño en Catia V5 y creación de un catálogo interactivo con 3DVIA de un diferencial Torsen*. Sevilla, Sevilla, España : Universidad de Sevilla, 2013.

Serrano Tenorio, Jesús. 2012. *Modelado y simulación virtual de un diferencial mecánico en entorno VRML*. Leganés : s.n., 2012.

Documentación técnica

GL&G PRODUCTIVITY S.L. . 2013. *Manual de funcionamiento del banco de montaje ProDrive.* Sevilla : s.n., 2013.

GL&G PRODUCTIVITY S.L. . 2013. *Manual de funcionamiento del banco de reproceso ProDrive.* Sevilla : s.n., 2013.

John Deere Ibérica S.A. *Instrucciones para la realización PFMA.*

John Deere Ibérica S.A. *JDS-D86: Pautas de diseño ergonómico para la fabricación.*

John Deere Ibérica S.A. *Guía Para Estudio De Capacidad.*

Deere & Company S.A. 2012. *Corporate Industrial Engineering Data Application Manual.* 2012.

INSEI S.L. *Manual de uso y mantenimiento del banco de ensayos hidráulicos de producción para transmisión ProDrive.*

INSEI S.L. *Manual de uso y mantenimiento del banco de ensayos de rodadura de producción para transmisión ProDrive.*

Recursos electrónicos

Fundibeq. 2010. Fundibeq: Fundación Iberoamericana para la gestión de la calidad. [En línea] 2010. <http://www.fundibeq.org/opencms/opencms/PWF/home/index/index.html>.

Deere & Company. 2014. John Deere - Catálogo de repuestos. [En línea] 2014. http://jdpc.deere.com/jdpc/servlet/com.deere.u90490.partscatalog.view.servlets.HomePageServlet_Alt?ui_lang_code=63.

Deere & Company. 2012. Manual para cosechadora John Deere:S660, S670, S680, S690 . [En línea] 2012. http://manuals.deere.com/omview/OMHXE56277_63/?tM=FR.

Deere & Company. Página web John Deere España. [En línea] <http://www.deere.es>.

Deere & Company. 2008. ProDrive transmission . [En línea] 21 de Mayo de 2008. http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en_NA/hay_forage/2008/feature/spfh/differentials_axles/pro_drive.html.

AENOR. Página web Asociación Española de Normalización y Certificación . [En línea] <http://www.aenor.es/>

CEN. Página web Centro Europeo de Normalización . [En línea] <https://www.cen.eu/>

ISO. Página web Organización Internacional de Normalización. [En línea] <http://www.iso.org/>

Deere & Company. 2012. ProDrive™ propulsion system automatically shifts between two speed ranges as ground conditions change. [En línea] 19 de Abril de 2012. http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en_NA/combines_headers/2012/feature/combines/drives_axles/prodrive_propulsion_system.html.

Aficionados a la mecánica. 2013. Curso de mecánica automotriz. [En línea] 2013. <http://www.aficionadosalamecanica.net>

Normativa

UNE-EN ISO 9000:2005. Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario. (ISO 9000:2005).

UNE-EN ISO 9001:2008. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. (ISO 9001:2008).

UNE-EN ISO 9004:2009. Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de gestión de la calidad. (ISO 9004:2009).

UNE-EN 60204-1:2007. Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. (IEC 60204-1:2005, modificada).

UNE-EN 953:1998+A1:2009. Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.

UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. (ISO 12100:2010).

UNE-EN ISO 13849-1:2007. Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño. (ISO 13849-1:2006).

UNE-EN ISO 13850:2008. Seguridad de las máquinas. Parada de emergencia. Principios para el diseño. (ISO 13850:2006).

UNE-EN ISO 4413:2011. Transmisiones hidráulicas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4413:2010).

UNE-EN ISO 4414:2011. Transmisiones neumáticas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4414:2010).

REAL DECRETO 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE.

Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 17 de mayo de 2006 relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición) .

Directiva 2006/95/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 12 de diciembre de 2006 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.

ISO 5393:1994. Rotary tools for threaded fasteners - Performance test method

Referencia de imágenes

Figura 2: “Situación de John Deere en el mundo”

Deere & Company. Página web John Deere España. [En línea] <http://www.deere.es>.

Figura 3: “Tractor Waterloo Boy”

Nieto del Mármol, Silvia. 2003. *JOHN DEERE IBÉRICA 50 años juntos Historia de un líder.* Madrid : Javelcom Gráfica, 2003. pág. 212.

Figura 4: “Fábrica Lanz Ibérica años 50”

Nieto del Mármol, Silvia. 2003. *JOHN DEERE IBÉRICA 50 años juntos Historia de un líder.* Madrid : Javelcom Gráfica, 2003. pág. 212.

Figura 5: “Inspección de tractores John Deere”

Nieto del Mármol, Silvia. 2003. *JOHN DEERE IBÉRICA 50 años juntos Historia de un líder.* Madrid : Javelcom Gráfica, 2003. pág. 212.

Figura 6: “Mapa de regiones”

Deere & Company. Página web John Deere España. [En línea] <http://www.deere.es>.

Figura 11: “Transmisión manual de tres ejes”

Andrino Cebrián, Juan Antonio. 2011. *Mecánica y entretenimiento simple del automóvil.* Madrid : Dirección General de Tráfico, 2011.

Figura 12: “Transmisión manual de tres ejes con diferencial integrado”

Arias-Paz Guitan, Manuel. 2004. *Manual de automóviles.* 55ª. Madrid : CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT 2000 S.L., 2004. pág. 1200. 9788496437388.

Figura 13: “Proceso de sincronización caja de cambios”

Arias-Paz Guitan, Manuel. 2004. *Manual de automóviles.* 55ª. Madrid : CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT 2000 S.L., 2004. pág. 1200. 9788496437388.

Figura 14: “Convertidor de par”

Andrino Cebrián, Juan Antonio. 2011. *Mecánica y entretenimiento simple del automóvil.* Madrid : Dirección General de Tráfico, 2011.

Figura 15: “Tren epicycloidal”

Andrino Cebrián, Juan Antonio. 2011. *Mecánica y entretenimiento simple del automóvil.* Madrid : Dirección General de Tráfico, 2011.

Figura 16: “Flujo interno en el convertidor de par”

Arias-Paz Guitan, Manuel. 2004. *Manual de automóviles.* 55ª. Madrid : CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT 2000 S.L., 2004. pág. 1200. 9788496437388.

Figura 17: “Relaciones de transmisión en un tren epicycloidal”

Aficionados a la mecánica. 2013. Curso de mecánica automotriz. [En línea] 2013.
<http://www.aficionadosalamecanica.net>

Figura 18: “Transmisión manual pilotada”

Aficionados a la mecánica. 2013. Curso de mecánica automotriz. [En línea] 2013.
<http://www.aficionadosalamecanica.net>

Figura 19: “Partes de un diferencial convencional”

Aficionados a la mecánica. 2013. Curso de mecánica automotriz. [En línea] 2013.
<http://www.aficionadosalamecanica.net>

Figura 20: “Diferencial por discos de fricción”

Aficionados a la mecánica. 2013. Curso de mecánica automotriz. [En línea] 2013.
<http://www.aficionadosalamecanica.net>

Figura 21: “Diferencial Ferguson”

Aficionados a la mecánica. 2013. Curso de mecánica automotriz. [En línea] 2013.
<http://www.aficionadosalamecanica.net>

Figura 22: “Diferencial Torsen”

Aficionados a la mecánica. 2013. Curso de mecánica automotriz. [En línea] 2013.
<http://www.aficionadosalamecanica.net>

Figura 24: “Montaje de roblones”

Pérez Díaz, José Luis; Palacios Cuenca, Sebastián. 2006. *Expresión gráfica en la ingeniería. Introducción al dibujo industrial.* Madrid PEARSON EDUCACIÓN S.A., 2006. pág. 180.
8420550906.

Figura 25: “Fuerzas de atracción en la unión adhesiva”

Madrid Vega, Mario, y otros. 2000. *Tecnología de la adhesión.* Madrid : Departamento Técnico de Loctite España, 2000. pág. 294.

Figura 26: “Tipos de fallos en uniones adhesivas”

Madrid Vega, Mario, y otros. 2000. *Tecnología de la adhesión.* Madrid : Departamento Técnico de Loctite España, 2000. pág. 294.

Figura 27: “Sellador”

Loctite . 2011. *Soluciones para la industria: adhesivos de ingeniería, selladores y productos para el tratamiento de superficies.* Barcelona : Henkel Ibérica S.A., 2011.

Figura 28: “Tornillo con adhesivo pre-aplicado”

Loctite . 2011. *Soluciones para la industria: adhesivos de ingeniería, selladores y productos para el tratamiento de superficies.* Barcelona : Henkel Ibérica S.A., 2011.

Figura 29: “Junta adhesiva”

Loctite . 2011. *Soluciones para la industria: adhesivos de ingeniería, selladores y productos para el tratamiento de superficies.* Barcelona : Henkel Ibérica S.A., 2011.

Figura 30: “Conjunto anillo elástico y herramienta de montaje”

Deere & Company S.A. 2012. *Corporate Industrial Engineering Data Application Manual .* 2012.

Figura 31: “Tipos de chavetas”

2009. *Dibujo industrial.Tema 4:Representaciones específicas. Universidad de Castilla-La Mancha,* 2009.

Figura 32: “Tipos de lengüetas”

2009. *Dibujo industrial.Tema 4:Representaciones específicas. Universidad de Castilla-La Mancha,* 2009.

Figura 33: “Funciones de los pasadores”

2009. *Dibujo industrial.Tema 4:Representaciones específicas. Universidad de Castilla-La Mancha,* 2009.

Figura 34: “Gráfica de fuerza de amarre y ángulo de giro para junta rígida y elástica”

Atlas Copco. *Técnicas de apriete.* pág. 97.

Figura 35: “Comportamiento elástico de la unión atornillada”

Atlas Copco. *Técnicas de apriete.* pág. 97.

Figura 36: “Gráfica tensión-deformación”

Atlas Copco. *Técnicas de apriete.* pág. 97.

Figura 37: “Gráfica de influencia del coeficiente de fricción vs fuerza de amarre”

Atlas Copco. *Técnicas de apriete.* pág. 97.

Figura 38: “Fenómeno de relajación en la unión roscada”

Loctite . 2011. *Soluciones para la industria: adhesivos de ingeniería, selladores y productos para el tratamiento de superficies.* Barcelona : Henkel Ibérica S.A., 2011.

Figura 39: “Fenómeno de aplastamiento en unión roscada”

Loctite . 2011. *Soluciones para la industria: adhesivos de ingeniería, selladores y productos para el tratamiento de superficies.* Barcelona : Henkel Ibérica S.A., 2011.

Figura 40: “Certificación AENOR”

AENOR. Página web Asociación Española de Normalización y Certificación . [En línea] <http://www.aenor.es/>

Figura 41: “Logotipo del Comité Europeo de Normalización”

CEN. Página web Centro Europeo de Normalización . [En línea] <https://www.cen.eu/>

Figura 42: “Logotipo de la Organización Internacional de Normalización”

ISO. Página web Organización Internacional de Normalización. [En línea] <http://www.iso.org/>

Figura 43: “Diagrama de gestión de calidad Norma ISO 9000”

UNE-EN ISO 9000:2005. Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario. (ISO 9000:2005).

Figura 44: “Diagrama de gestión de calidad Norma ISO 9004”

UNE-EN ISO 9004:2009. Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de gestión de la calidad. (ISO 9004:2009).

Figura 60: “Pedales de freno de servicio de cosechadora”

Deere & Company. 2012. Manual para cosechadora John Deere: S660, S670, S680, S690 . [En línea] 2012. http://manuals.deere.com/omview/OMHXE56277_63/?tM=FR.

Figura 131: “Atornillador Desoutter de la serie EME”

Desoutter. 2013. *Industrial tools.* 2013.

Figura 132: “Gráfica de apriete por control de par”

Atlas Copco. *Técnicas de apriete.* pág. 97.

Figura 133: “Gráfica de apriete por control de par y ángulo”

Atlas Copco. *Técnicas de apriete.* pág. 97.

Figura 134: “Gráfica de apriete a par más ángulo”

Atlas Copco. *Técnicas de apriete.* pág. 97.

Figura 135: “Gráfica de tensión frente ángulo de giro”

Atlas Copco. *Técnicas de apriete.* pág. 97.

Figura 136: “Controlador Desoutter CVI3 Vision”

Desoutter. 2013. *Industrial tools.* 2013.

Figura 137: “Catálogo de brazos de reacción de par Desoutter”

Desoutter. 2013. *Industrial tools.* 2013.

Figura 138: “Selector de vasos Desoutter”

Desoutter. 2013. *Industrial tools.* 2013.

Anexos

En este capítulo se recoge la documentación a la que se ha hecho referencia lo largo del proyecto, como planos, informes de banco y hojas de datos mecánicos.

Anexo I: Informe del banco de pruebas de diferencial:

Se presentan los resultados generados en el banco de pruebas del premontaje del diferencial, mostrando un ejemplo de un ensayo realizado.

Anexo II: Informe del banco de pruebas del eje de entrada:

Se presentan los resultados generados en el banco de pruebas del premontaje del eje de entrada, mostrando un ejemplo de un ensayo realizado.

Anexo III: Informe del banco de pruebas hidráulicas:

En el anexo se muestran los informes de pruebas del banco de ensayos hidráulicos, ilustrando una transmisión con resultado correcto y una transmisión denegada. También se muestra la secuencia de operaciones del banco de pruebas.

Anexo IV: Informe del banco de pruebas de rodadura:

En este anexo se presenta un informe de pruebas generado en el banco de ensayos de rodadura. Se muestra también la tabla de secuencia de operaciones del banco de rodadura y las condiciones de paso.

Anexo V: Ejemplo análisis modal de fallos y efectos:

Se presenta un ejemplo de una tabla de evaluación para la realización del análisis modal de fallos y efectos.

Anexo VI: Manual de reproceso:

Se muestra el manual de reproceso para los resultados de pruebas hidráulicas realizado durante la consecución del presente proyecto. Para cada modo de fallo se indican los principales pasos a seguir y los elementos a comprobar.

Anexo VII: Diagrama de Pareto de los principales modos de fallo:

El diagrama de Pareto del anexo muestra los resultados obtenidos a lo largo del estudio de los principales modos de fallo, mostrando de forma gráfica la frecuencia de cada uno de ellos y la frecuencia acumulada.

Anexo VIII: Planos del banco de volteo del puesto de reproceso:

En el anexo se ilustran los planos proporcionados por la empresa GL&G PRODUCTIVITY S.L. del banco de volteo instalado en el puesto de reproceso.

Anexo IX: Planos del conjunto de atornillador eléctrico:

Se muestran los planos del conjunto instalado en el puesto de reproceso para la herramienta de apriete eléctrico.

Anexo X: Planos de la prensa de reproceso:

En el anexo se ilustran los planos proporcionados por la empresa GL&G PRODUCTIVITY S.L. de la prensa para premontajes instalada en el puesto de reproceso.

Anexo XI: Hoja de datos mecánicos:

Se ilustra un ejemplo de la configuración de una hoja de datos mecánicos empleados en las estaciones de montaje en la que se indica de forma gráfica y escrita el proceso de montaje en el orden adecuado, las comprobaciones y pares que se deben aplicar.

Anexo XII: Ayuda visual para reproceso:

En el anexo se muestra un ejemplo de ayuda visual realizada durante la consecución del presente proyecto para el análisis y reproceso de los principales modos de fallo.

Anexo XIII: Hoja de montaje:

Representa un documento de ayuda realizado durante el presente proyecto para agilizar el reproceso de las transmisiones defectuosas. En el documento se recogen todas las piezas montadas en la transmisión (montaje final) indicando la referencia identificativa, cantidad, pares de apriete (si se aplica) y la aplicación de adhesivos o grasas durante su ensamblado.



ANEXO I

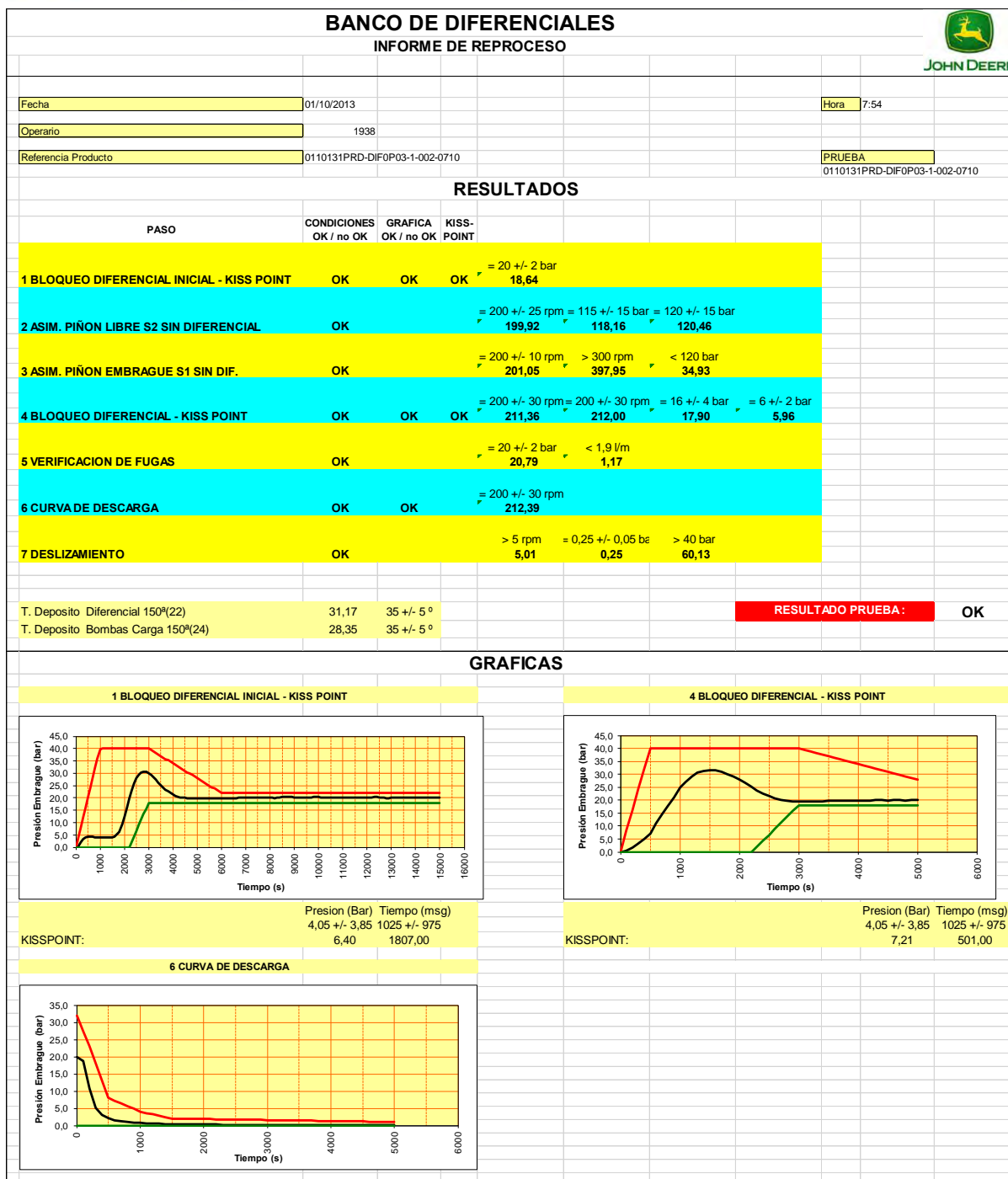


Figura A1-1: "Informe de pruebas generado en el banco de rodadura del premontaje del diferencial"



ANEXO II

BANCO DE EJES DE ENTRADA				INFORME DE REPROCESO		 JOHN DEERE	
Fecha		01/07/2013		Hora		6:40	
Operario		2006					
Referencia Producto		0107131prd-eeb001-1-001		PRUEBA		0107131prd-eeb001-1-001	
RESULTADOS							
PASO	CONDICIONES OK / no OK	GRAFICA OK / no OK					
PASOS HIDRAULICOS	VERIFICACION LUBRICACIÓN 1 Verificación Presión "4"	OK	= 3.5 +/- 2.5 bar 2,84				
	VERIFICACION EMBRAGUE "LO" 2 Verificación Presión "6"	OK	> 21,4 bar 22,25				
	VERIFICACION EMBRAGUE "LO" 3 Verificación estanqueidad dinámica	OK	> -2 bar -0.35	= 30 +/- 10			
	VERIFICACION EMBRAGUE "LO" 4 Verificación KISS POINT	OK					
	VERIFICACION EMBRAGUE "LO" 5 Verificación descarga	OK					
	VERIFICACION EMBRAGUE "HI" 6 Verificación Presión "5"	OK	= 22 +/- 2 bar 23,49				
	VERIFICACION EMBRAGUE "HI" 7 Verificar fugas dinámicas	OK	< 1,00 l/m 0,14	= 30 +/- 10 Nm 29,44			
	VERIFICACION EMBRAGUE "HI" 8 Verificación descarga	OK					
	VERIFICACION EMBRAGUE "HI" 9 Verificación KISS POINT	OK					
PASOS FUNCIONALES	PRUEBA DINAMICA "LO" 10 Verificación Presión "6"	OK	= 22 +/- 2 bar 22,45				
	PRUEBA DINAMICA "LO" 11 Verificación giro sin carga	OK	= 2000 +/- 30 rpm 1995,59	= 804 +/- 20 rpm 807,76			
	PRUEBA DINAMICA "LO" 12 Verificación giro con carga	OK	= 2000 +/- 30 rpm 1991,28	= 50 +/- 15 Nm 46,41	= 804 +/- 20 rpm 805,90		
	PRUEBA LIBRE 13 Verificación giro libre	OK	= 2000 +/- 30 rpm 1993,98	= 804 +/- 100 rpm 809,17			
	PRUEBA DINAMICA "HI" 14 Verificación Presión "5"	OK	= 22 +/- 2 bar 23,58				
	PRUEBA DINAMICA "HI" 15 Verificación giro sin carga	OK	= 2000 +/- 30 rpm 1996,40	= 1900 +/- 20 rpm 1899,32			
	PRUEBA DINAMICA "HI" 16 Verificación giro con carga	OK	= 990 +/- 30 rpm 982,33	= 50 +/- 15 Nm 46,33	= 940 +/- 20 rpm 946,23		
	PRUEBA LIBRE 17 Verificación giro libre	OK	= 2000 +/- 30 rpm 1995,48	= 804 +/- 100 rpm 809,67			
PASOS DESPLAZAMIENTO	PREPARACION 18 Preparación						
	DESPLAZAMIENTO "HI" 19 Desplazamiento "HI"	OK	= 200 +/- 15 Nm 197,36	= 5,25 +/- 0,40 bar 5,16			
	DESPLAZAMIENTO "LO" 20 Desplazamiento "LO"	OK	= 200 +/- 15 Nm 197,33	= 2,25 +/- 0,7 bar 2,32			
T. DEPOSITO EJE ENTRADA (°C)		43,69		RESULTADO PRUEBA:		OK	

Figura A2-1: "Informe de pruebas generado en el banco de rodadura del premontaje del eje de entrada"

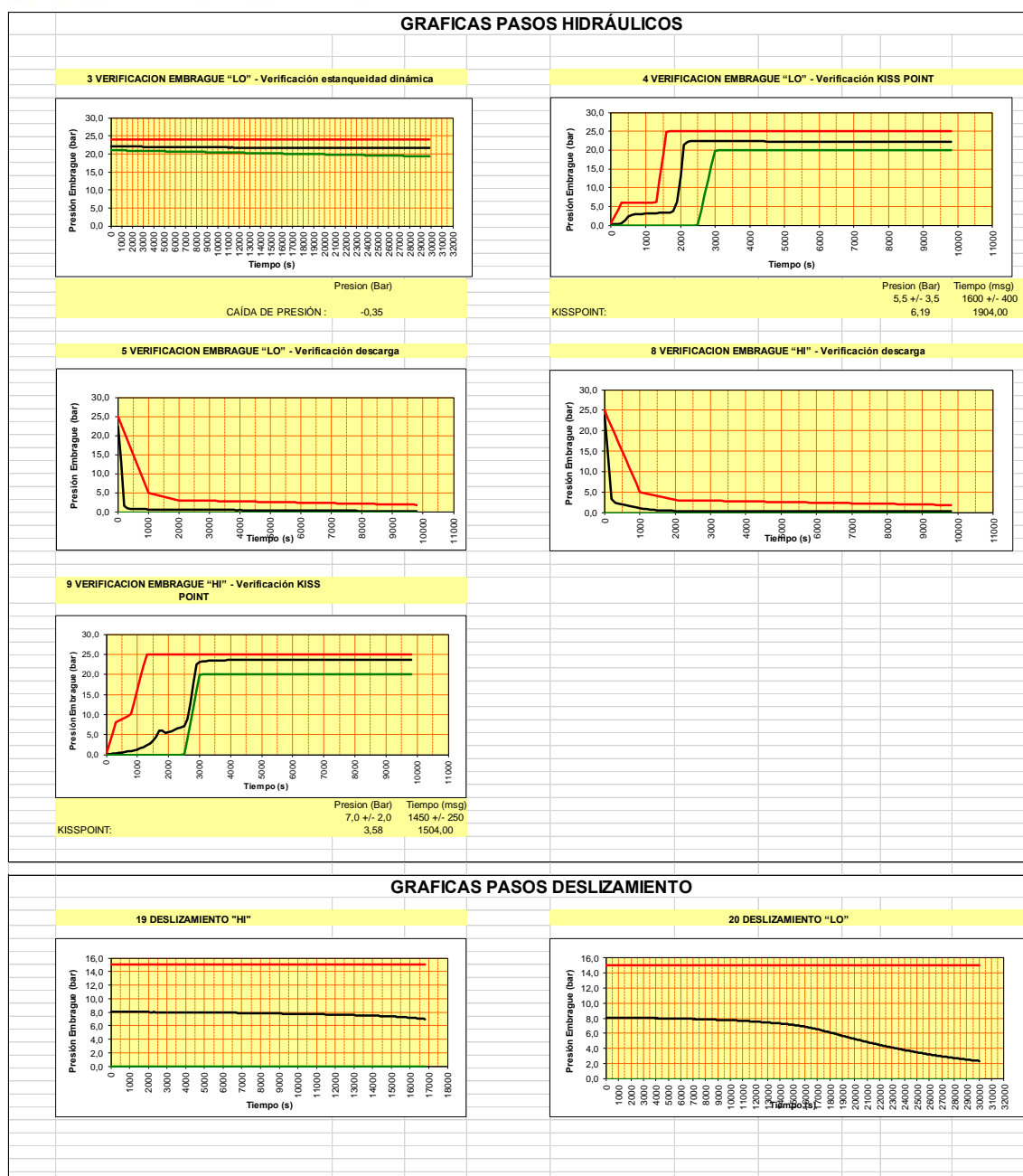


Figura A2-2: "Informe de pruebas generado en el banco de rodadura del premontaje del eje de entrada"



ANEXO III

BANCO DE TRANSMISIONES 2-SPEED HIDRAULICO

INFORME DE REPROCESO



JOHN DEERE

Fecha	17/02/2014	9:13	Hora	
Operario	2043			
Transmisión	CET2AAP101373			
PRUEBA	Secuencia OperacionAAP.xls			
PRUEBAS HIDRAULICAS				
PASO	ESTADO	VALOR	RANGO	MOTIVO
Purgado Freno de Servicio	OK	0,0		
Estanqueidad Freno de Servicio Superior	OK	-2,6	P. Linea ð P. Linea > -4,00	
Estanqueidad Freno de Servicio Inferior	OK	-3,7	P. Linea ð P. Linea > -4,00	
Lubricación Eje Intermedio	OK	3,9	P. Linea = 3,50 +/- 2,50	
Lubricación Eje de Entrada	OK	2,5	P. Linea = 3,50 +/- 2,50	
Estanqueidad Lo (Hi/Lo Brake)	OK	-0,9	P. Linea ð P. Linea > -2,00	
Fugas Embrague (Clutch)	OK	0,6	Caudal < 1,32	
Fugas Diferencial	OK	20,1	P. Linea = 20 +/- 2 Y Caudal < 1,5	
PASO PRUEBA ANULADO	-		P. Linea = 2 +/- 2	AI3 = 2 +/- 2
Lubricación Frenos de Servicio	OK	5,3	Caudal = 5,60 +/- 1,50	
Estanqueidad Freno de Aparcamiento	OK	-3,2	P. Linea ð P. Linea > -4,00	
PASO PRUEBA ANULADO_	-			
Medida Fugas				
-0,3				

Figura A3-1: "Informe de pruebas generado en el banco hidráulico para una transmisión correcta"

BANCO DE TRANSMISIONES 2-SPEED HIDRAULICO

INFORME DE REPROCESO



JOHN DEERE

Fecha	17/02/2014	19:00	Hora	
Operario	2003			
Transmisión	CET2AAP101395			
PRUEBA	Secuencia OperacionAAP.xls			
PRUEBAS HIDRAULICAS				
PASO	ESTADO	VALOR	RANGO	MOTIVO
Purgado Freno de Servicio	OK	0,0		
Estanqueidad Freno de Servicio Superior	OK	-2,6	P. Linea ð P. Linea > -4,00	
Estanqueidad Freno de Servicio Inferior	OK	-3,7	P. Linea ð P. Linea > -4,00	
Lubricación Eje Intermedio	OK	3,9	P. Linea = 3,50 +/- 2,50	
Lubricación Eje de Entrada	OK	2,5	P. Linea = 3,50 +/- 2,50	
Estanqueidad Lo (Hi/Lo Brake)	OK	-0,9	P. Linea ð P. Linea > -2,00	
Fugas Embrague (Clutch)	OK	0,6	Caudal < 1,32	
Fugas Diferencial	OK	20,1	P. Linea = 20 +/- 2 Y Caudal < 1,5	
PASO PRUEBA ANULADO	-		P. Linea = 2 +/- 2	AI3 = 2 +/- 2
Lubricación Frenos de Servicio	OK	5,3	Caudal = 5,60 +/- 1,50	
Estanqueidad Freno de Aparcamiento	No OK	0,0	P. Linea ð P. Linea > -4,00	
PASO PRUEBA ANULADO_	-			
Medida Fugas				
-0,6				

Figura A3-2: "Informe de pruebas generado en el banco hidráulico para una transmisión incorrecta"

PASO	Verificación conductos no obstruidos.	Tiempo (s)	Estado de válvulas										
			VS-1	VS-2	VS-3	VS-4	VS-5	VS-6	VS-7	VS-8	VS-9	VS-10	VS-11
1	Purgado Freno de Servicio	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ON	ON
2	Estanqueidad Freno de Servicio Superior	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ON	-
3	Estanqueidad Freno de Servicio Inferior	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ON
4	Lubricación Eje Intermedio	10	ON	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Lubricación Eje de Entrada	10	-	ON	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Estanqueidad Lo (Hi/Lo Brake)	10	-	-	ON	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Fugas Embrague (Clutch)	10	-	-	-	ON	-	-	-	-	-	-	-
8	Fugas Diferencial	10	-	-	-	-	ON	-	-	-	-	-	-
9	PASO PRUEBA ANULADO	2	-	-	-	-	-	ON	-	-	-	-	-
10	Lubricación Frenos de Servicio	15	-	-	-	-	-	-	ON	-	-	-	-
11	Estanqueidad Freno de Aparcamiento	30	-	-	-	-	-	-	-	ON	-	-	-
12	PASO PRUEBA ANULADO	1	-	-	-	-	-	-	-	-	ON	-	-

Figura A3-3: "Tabla de activación de electroválvulas del banco de ensayos hidráulico"

PASO	Verificación conductos no obstruidos.	Consignas			Condiciones de validez del paso		Control
		Bomba variable	Frecuencia (Hz)	Cond Inicial	Condicion 1	Condicion 2	
1	Purgado Freno de Servicio	1	10,0	1,1			Presión
2	Estanqueidad Freno de Servicio Superior	40	10	1,14	AI3 ð AI3 > -4,00		Presión
3	Estanqueidad Freno de Servicio Inferior	40	10	1,14	AI3 ð AI3 > -4,00		Presión
4	Lubricación Eje Intermedio	2	10	0,9	AI3 = 3,50 +/- 2,50		Caudal
5	Lubricación Eje de Entrada	14,0	50	2,5	AI3 = 3,50 +/- 2,50		Caudal
6	Estanqueidad Lo (Hi/Lo Brake)	22	10	1,74	AI3 ð AI3 > -2,00		Presión
7	Fugas Embrague (Clutch)	20	10	1,34	AI2 < 1,32		Presión
8	Fugas Diferencial	20	10	1,56	AI3 = 20 +/- 2	AI2 < 1,5	Presión
9	PASO PRUEBA ANULADO	2	10	6,5	AI3 = 2 +/- 2		Presión
10	Lubricación Frenos de Servicio	3	30	6,55	AI2 = 5,60 +/- 1,50		Presión
11	Estanqueidad Freno de Aparcamiento	27	10	1,57	AI3 ð AI3 > -4,00		Presión
12	PASO PRUEBA ANULADO	1	10	0			Presión

Figura A3-4: "Tabla de consignas del banco de ensayos hidráulico"



ANEXO IV

BANCO DE TRANSMISIONES 2-SPEED RODADURA INFORME DE REPROCESO



JOHN DEERE

Fecha	16/04/2014	Hora	19:19
Operario	1940		
Transmisión	CET2AAP102344		
PRUEBA	Sec_Ops_AAP.xls		
PASOS DE PRUEBA			
PASO	ESTADO	MOTIVO	
Calentamiento, Flujo aceite & P Lub.	OK		
Temp aceite, caudal Bomba tapa	OK		
Presión en Park Brake & Lo & Diff	OK		
Activo Diff - Balance ejes	OK		
Ajuste Frenos	OK		
Comprobación tacómetro velocidad	OK		
Frenado asimétrico con diferencial bloqueado	OK		
Frenado asimétrico sin diferencial bloqueado	OK		
Frenado con Service Brake	OK		
Frenado simétrico en marcha corta	OK		
Paso por cero	OK		
Despegue Discos	OK		
Rodadura en punto muerto tras marcha corta	OK		
Detención para cambio de marcha	OK		
Presión en marcha larga	OK		
Frenado simétrico en marcha larga	OK		
Paso por cero	OK		
Despegue Discos	OK		
Rodadura en punto muerto tras marcha larga	OK		
Detención para finalización	OK		
Deslizamiento Park Brake	OK		

Figura A4-1: "Informe de pruebas generado en el banco de rodadura"

			ELECT-VALVES												
Step	Nombre	Tiempo (s)	Hi/Lo Clutch	Hi/Lo Brake	Diff Lock	Park Brake	Service Brake	Reserva	Input Shaft (rpm)	Reserva	L. Brake Motor (mkg)	R. Brake Motor (mkg)	Oil inlet Pressure (bar)	Oil inlet Flow (l/min)	
1	Calentamiento, Flujo aceite & P Lub.	5,0	-	-	-	-	-	-	0,0	0	0,00	0,00	30	0	
2	Temp aceite, caudal Bomba tapa	5,0	-	-	-	-	-	-	0,0	0	0,00	0,00	30	0	
2	Presión en Park Brake & Lo & Diff	2,0	-	ON	ON	ON	-	-	0,0	0	0,00	0,00	30	0	
3	Activo Diff - Balance ejes	4,0	-	ON	ON	ON	-	-	900	0	0,00	0,00	30	0	
4	Ajuste Frenos	20,0	-	ON	ON	ON	ON	-	900	0	0,00	0,00	30	0	
5	Comprobación tacómetro velocidad	4,0	-	ON	ON	ON	-	-	1800	0	0,00	0,00	30	0	
6	Frenado asimétrico con diferencial bloqueado	8,0	-	ON	ON	ON	-	-	1800	0	10,00	0,00	30	0	
7	Frenado asimétrico sin diferencial bloqueado	8,0	-	ON	-	ON	ON	ON	1350	0	0,00	0,00	30	0	
8	Frenado con Service Brake	8,0	-	ON	-	ON	ON	-	1800	0	0,00	0,00	30	0	
9	Frenado simétrico en marcha corta	8,0	-	ON	ON	ON	ON	-	1260	0	0,00	0,00	30	0	
10	Paso por cero	4,0	-	-	-	ON	-	-	0,0	0	0,00	0,00	30	0	
11	Despegue Discos	1,0	-	-	-	ON	ON	-	1700	0	0,00	0,00	30	0	
12	Rodadura en punto muerto tras marcha corta	6,0	-	-	-	ON	-	-	1700	0	0,00	0,00	30	0	
13	Detención para cambio de marcha	2,0	-	-	-	ON	-	-	0,0	0	0,00	0,00	30	0	
14	Presión en marcha larga	2,0	ON	-	-	ON	-	-	0,0	0	0,00	0,00	30	0	
15	Frenado simétrico en marcha larga	8,0	ON	-	ON	ON	ON	ON	900	0	0,00	0,00	30	0	
16	Paso por cero	4,0	-	-	-	ON	-	-	0,0	0	0,00	0,00	30	0	
17	Despegue Discos	1,0	-	-	-	ON	ON	-	1700	0	0,00	0,00	30	0	
18	Rodadura en punto muerto tras marcha larga	6,0	-	-	-	ON	-	-	1700	0	0,00	0,00	30	0	
19	Detención para finalización	1,0	-	-	-	ON	-	-	0,0	0	0,00	0,00	30	0	

Step	Nombre	Condición 1	Condición 2	Condición 3	Condición 4
1	Calentamiento, Flujo aceite & P Lub.	AI13 < 4,0	AI12 > 25,00	AI12 < 30,00	AI26 > 25,00
2	Temp aceite, caudal Bomba tapa	AI20 > 30,00	AI15 > 20,00		
2	Presión en Park Brake & Lo & Diff	AI13 = 27,5 +/- 2,5	AI23 > 650	AI24 > 650	
3	Activo Diff - Balance ejes				
4	Ajuste Frenos				
5	Comprobación tacómetro velocidad	AI17 = 158,00 +/- 20,00			
6	Frenado asimétrico con diferencial bloqueado	AI2 = 158,00 +/- 20,00	AI4 = 158,00 +/- 20,00		
7	Frenado asimétrico sin diferencial bloqueado	AI4 - AI2 > 200,00			
8	Frenado con Service Brake	AI2 = 158,00 +/- 20,00	AI4 = 158,00 +/- 20,00	AI27 = 5,00 +/- 2,00	
9	Frenado simétrico en marcha corta	AI4 - AI2 = 0,00 +/- 50,00			
10	Paso por cero				
11	Despegue Discos				
12	Rodadura en punto muerto tras marcha corta	AI2 = 0,00 +/- 30,00	AI4 = 0,00 +/- 30,00		
13	Detención para cambio de marcha	AI0 = 0,00 +/- 15,00	AI2 = 0,00 +/- 15,00	AI4 = 0,00 +/- 15,00	
14	Presión en marcha larga	AI22 > 650			
15	Frenado simétrico en marcha larga	AI2 - AI4 = 0,00 +/- 50,00	AI2 = 188,00 +/- 20,00	AI4 = 188,00 +/- 20,00	
16	Paso por cero				
17	Despegue Discos				
18	Rodadura en punto muerto tras marcha larga	AI2 = 0,00 +/- 30,00	AI4 = 0,00 +/- 30,00		
19	Detención para finalización	AI0 = 0,00 +/- 15,00	AI2 = 0,00 +/- 15,00	AI4 = 0,00 +/- 15,00	

Figura A4-2: "Tabla de activación de electroválvulas del banco de rodadura y consignas de paso"



ANEXO V

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)											HOJA	REVI. Nº	FECHA	POR			
											de						
PRODUCTO:				PROCESO:							RESPONSABLE:						
ESPECIFICACIÓN:				OPERACIÓN:							FECHA:						
FECHA DE EDICIÓN:				ACTUAR SOBRE NPR> QUE:							REVISADO:						
Nombre producto	Operación o función	Modo de fallo	Efectos de fallo	S	G	Causas del fallo	O	Controles actuales	D	NPR	Acción correctora	Responsables	Acciones implantadas	Valoración			NPR
														S	O	D	

Figura A5-1: “Ejemplo de tabla para la realización del análisis modal de fallos y efectos (A.M.F.E.)”



ANEXO VI

 REPROCESO PRODRIVE BANCO HIDRAULICO			
CAUSA/MODO DE FALLO	CAUSA PROBABLE Nº1 (sin desmontar nada)	CAUSA PROBABLE Nº2 (ya habría que desmontar)	CAUSA PROBABLE Nº3 (ya habría que desguazar)
Estanqueidad freno de aparcamiento	Revisar junta tórica del conducto del cv esclavo del PB	Faltan/están dañadas las tóricas del: pistón(CE30123)/carcasa(CE30124) YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR EN REPROCESO	Faltan/están dañadas las juntas: Parking brake CE30190 Tapa negra CE30192. YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR EN REPROCESO
Estanqueidad de FS inferior(lado PB)	Fuga(par incorrecto): Racor 61M5002(1x) Revisar junta tórica del cv esclavo	Faltan/están dañadas las tóricas del: pistón(DE20413)/DE20414 Daño superficies exterior/interior pistón Daño superficie exterior/interior flor pistón cruzado	Faltan/están dañadas las juntas: Tapa negra CE30192. YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR EN REPROCESO
Estanqueidad de FS superior(lado CV)	Fuga(par incorrecto): Racor 61M5002(1x) Revisar junta tórica del cv esclavo	Faltan/están dañadas las tóricas del: pistón(DE20413)/DE20414 Daño superficies exterior/interior pistón Daño superficie exterior/interior flor pistón cruzado	Faltan/están dañadas las juntas: Tapa negra CE30192. YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR EN REPROCESO
Fuga diferencial	Revisar junta tórica del cv esclavo	Falta/está dañado tapón de la Flor(15H558) Falta/está dañados segmentos Flor (R39322) Falta/está dañados toricas (CE18383 y CE31401)	Faltan/están dañadas las juntas: Tapa negra CE30192. Fallo Diferencial (Viene Ok) YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR EN REPROCESO
Lubricación E.E.	Revisar junta tórica del cv esclavo Anillo elastico 40M7044 (1x) Fuga: Falta/está dañado Obturador H110539(1x)	Daño/suciedad tapita CE30939 (1x) Falta/está dañado segmento R33248 (1x)	Faltan/están dañadas las juntas: Tapa negra CE30192. eje de entrada YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR EN REPROCESO
Lubricacion E.I.	Revisar junta tórica del cv esclavo Anillo elastico 40M7090 (1x)	Daño/suciedad tapita CE21428 (1x)	Faltan/están dañadas las juntas: Tapa negra CE30192. Eje Intermedio Falta/está dañado obturador R73128 YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR
Lubricacion Freno de Servicio	Revisar junta tórica del cv esclavo Fuga(falta algún tapón/par incorrecto): Racor 61M5002 Tapón 64M5016 (1x) Fuga(falta algún remache carcasa AT107509 4x)	Flor Superior(CV) Faltan/están dañados obturadores (DE20019 2x De20018 1x) Daño/Suciedad conductos flor (De30053) Faltan/están dañadas tóricas(H153493 y CE31401) Flor Inferior(PB) Faltan/están dañados obturadores(DE20019 2x De20018 1x) Daño/Suciedad conductos flor (DE30051) Faltan/están dañadas tóricas(CE31311 2x)	Faltan/están dañadas las juntas: Tapa negra CE30192. YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR EN REPROCESO
Fugas Embrague (Clutch)	Revisar cuerpo de válvulas esclavo Casquillo Ce19162 y torica R26286		Fallo en Eje de Entrada YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR
Estanqueidad Lo (Hi/Lo Brake)	Revisar cuerpo de válvulas esclavo Casquillo Ce19162 y torica R26286		Fallo en Eje de Entrada YA NO SE PODRÍA VOLVER A MONTAR

Figura A6-1: "Guía para el reproceso de los modos de fallo del banco hidráulico"



ANEXO VII

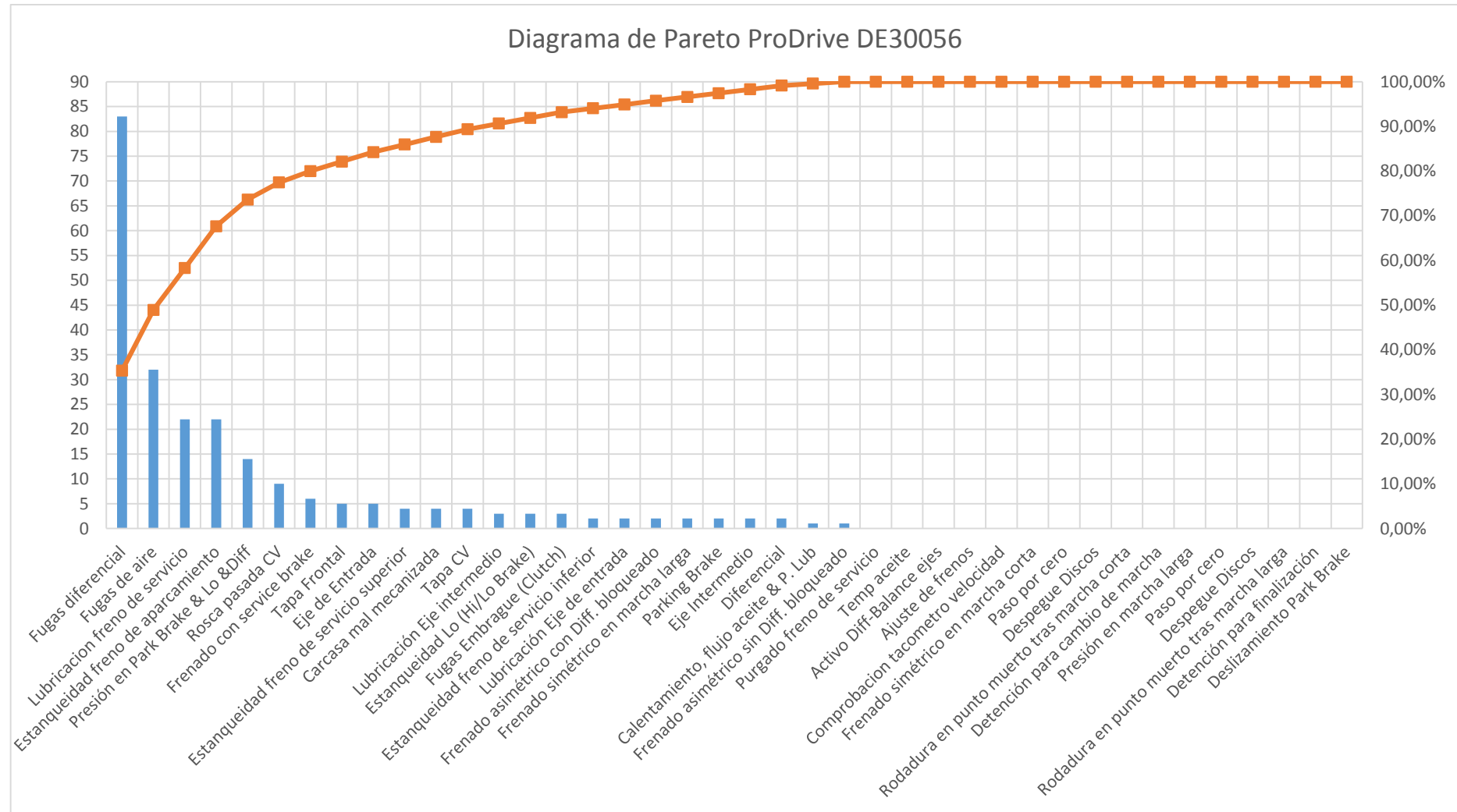


Figura A7-1: "Diagrama de Pareto de transmisiones con defecto ProDrive modelo DE30056 para pruebas de banco hidráulico y de rodadura"



ANEXO VIII

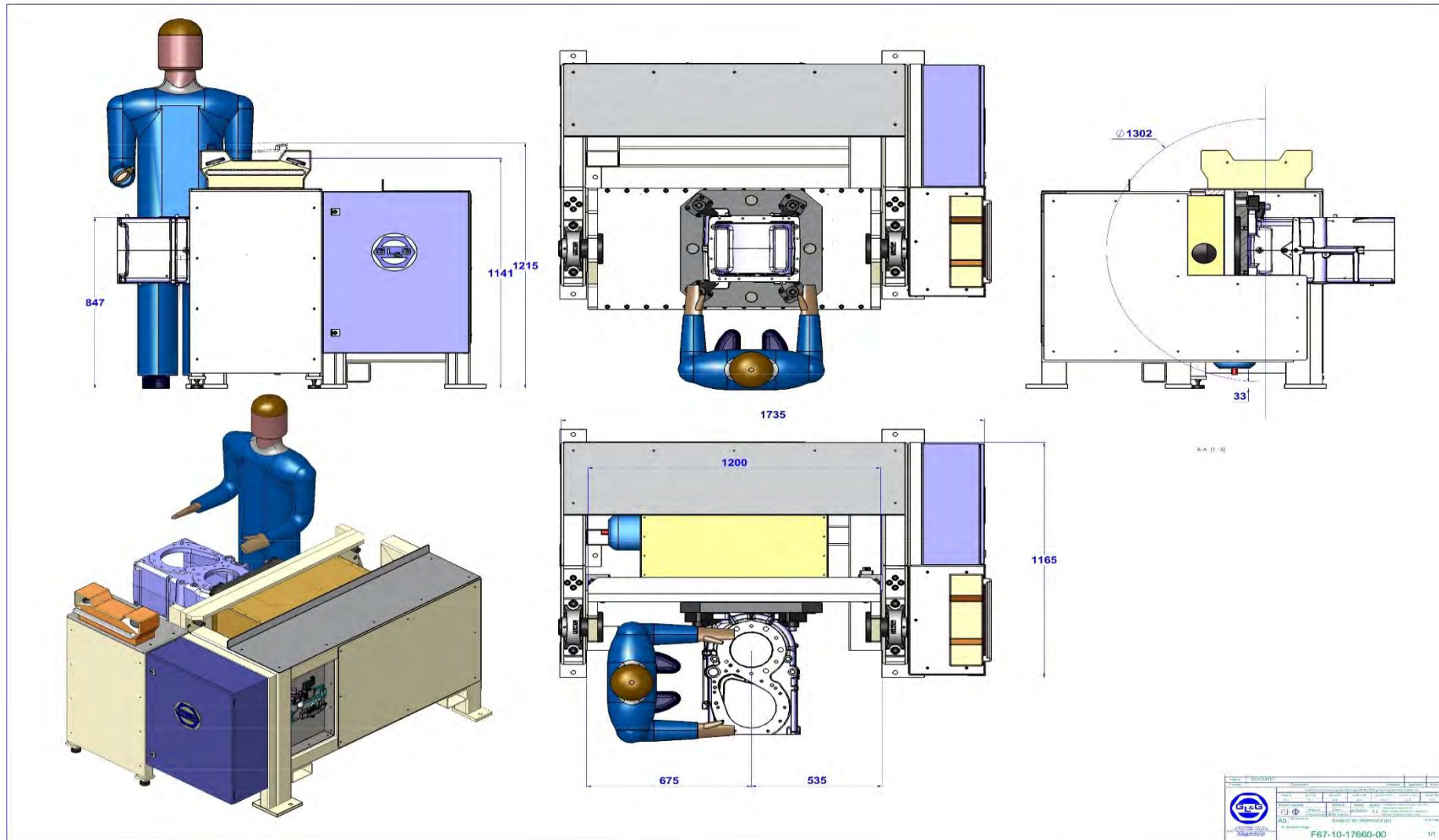


Figura A8-1: “Plano banco de volteo puesto de reproceso ProDrive”



ANEXO IX

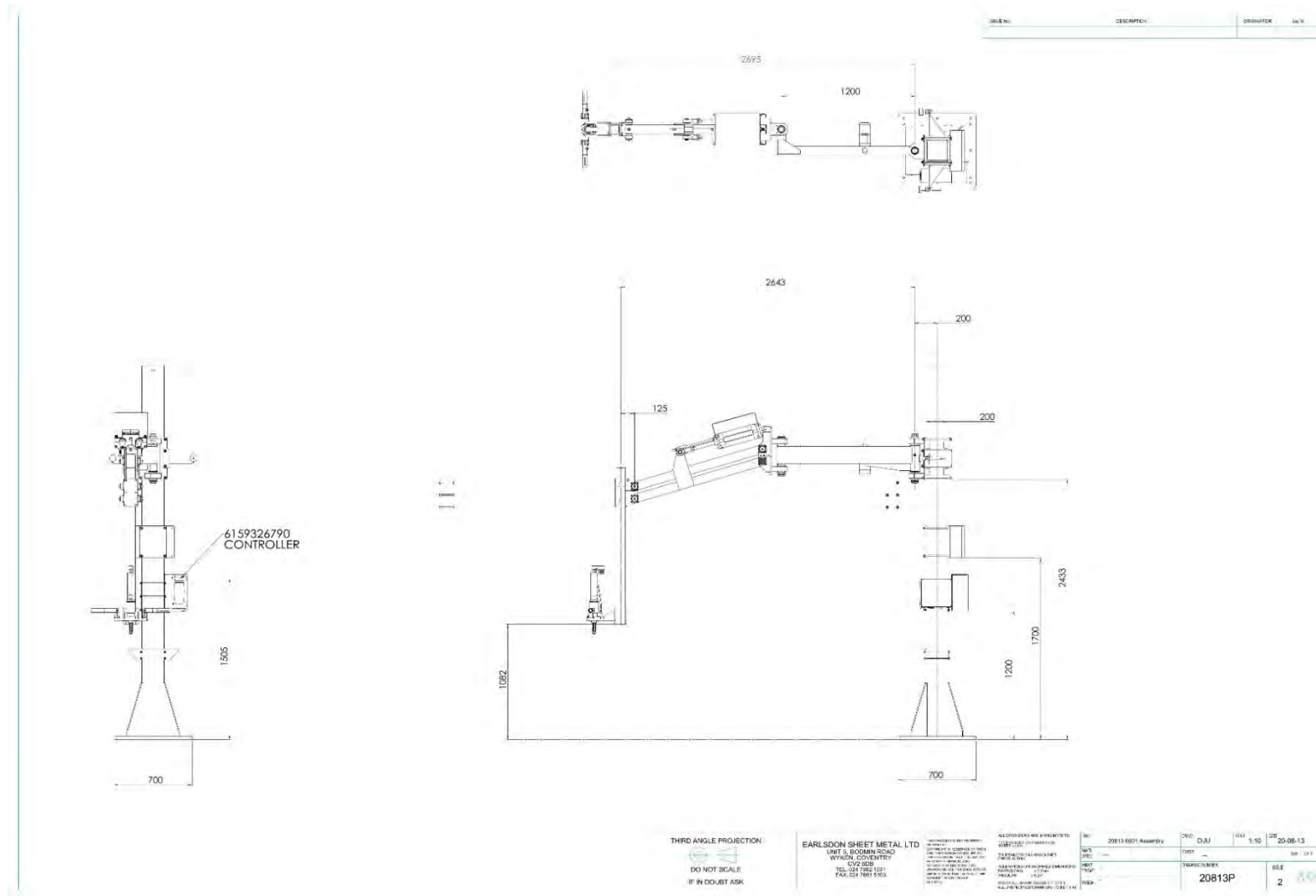


Figura A9-1: "Plano conjunto de atornillador 1"

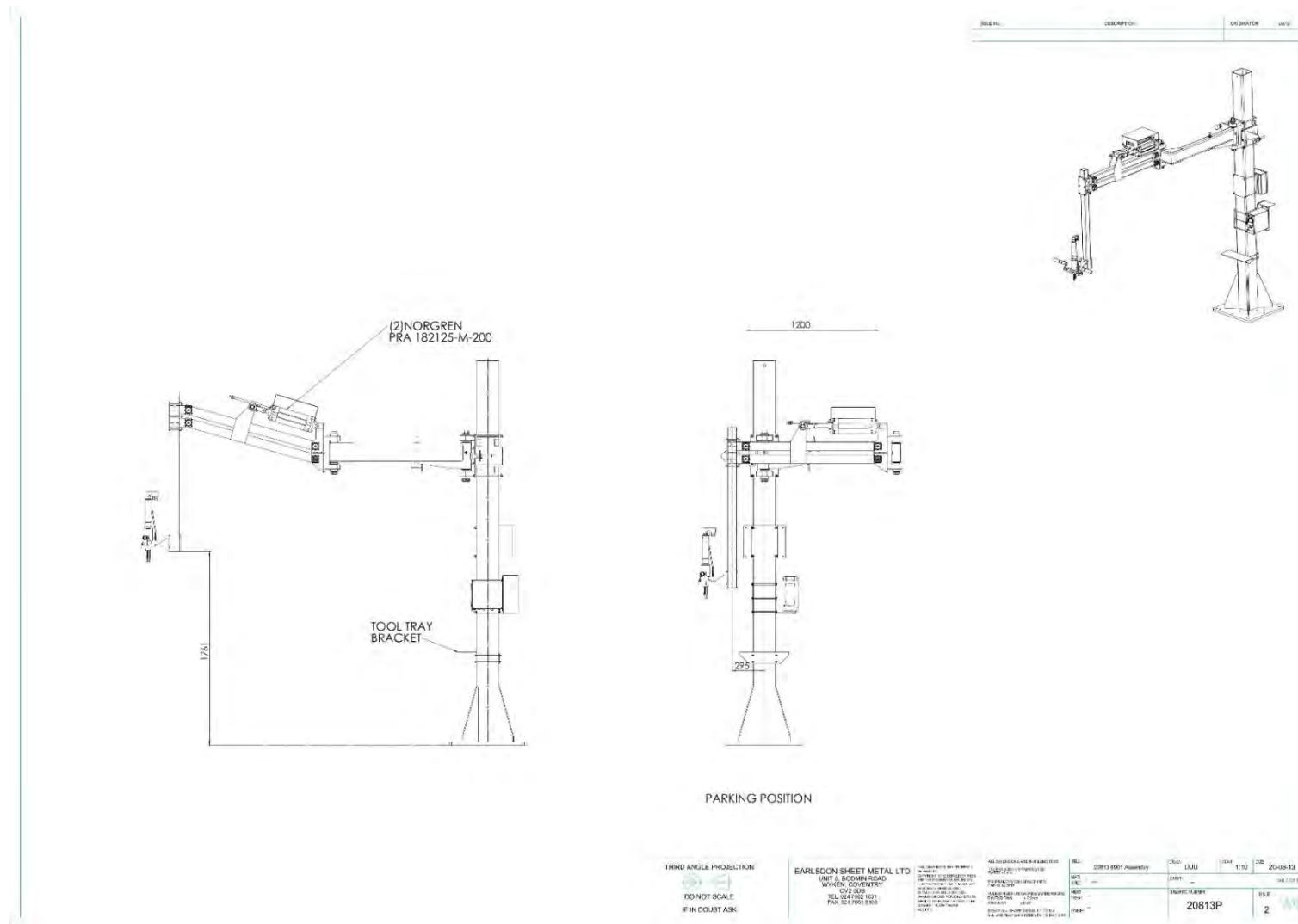


Figura A9-2: "Plano conjunto de atornillador 2"

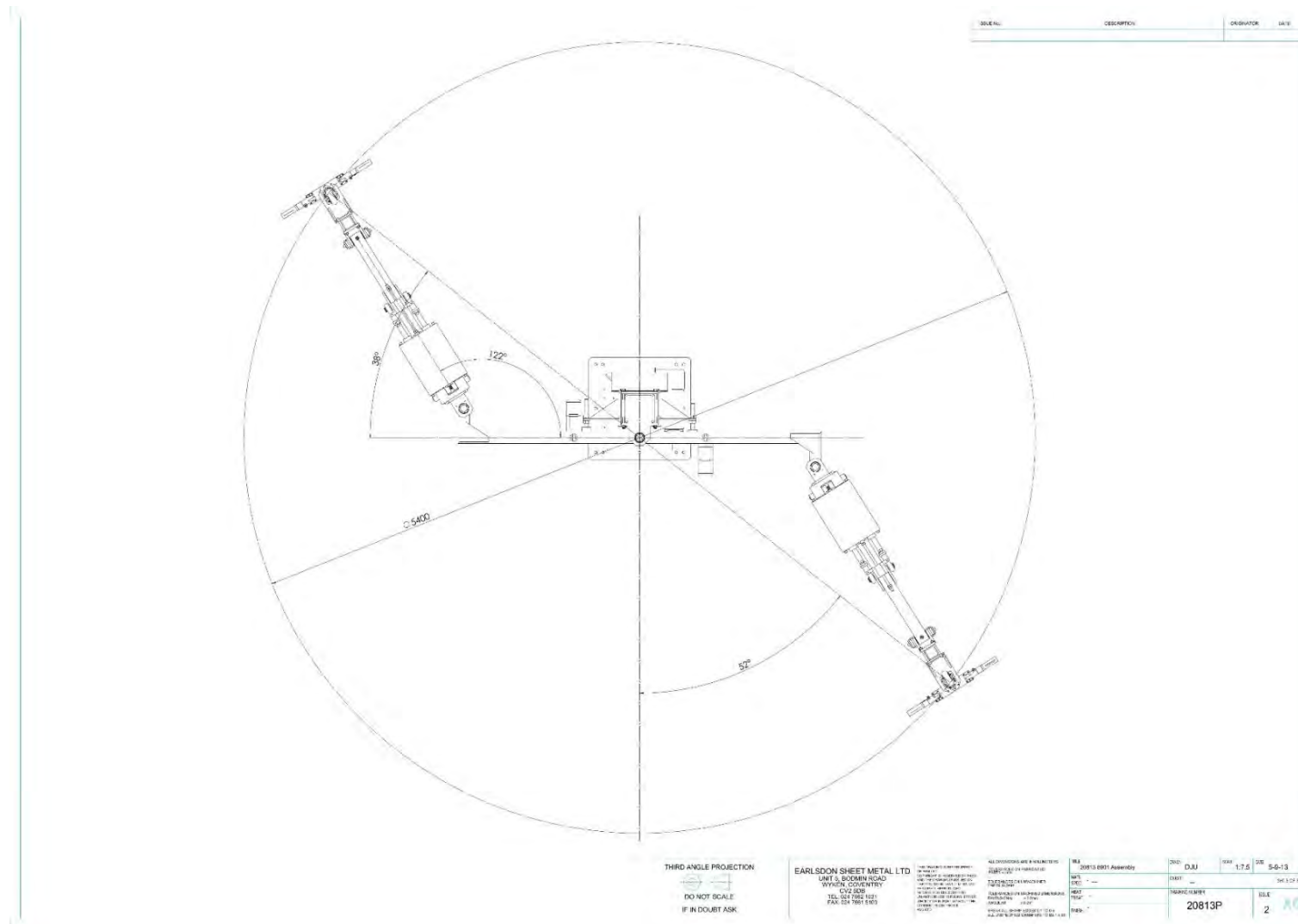


Figura A9-3: "Plano conjunto de atornillador 3"



ANEXO X

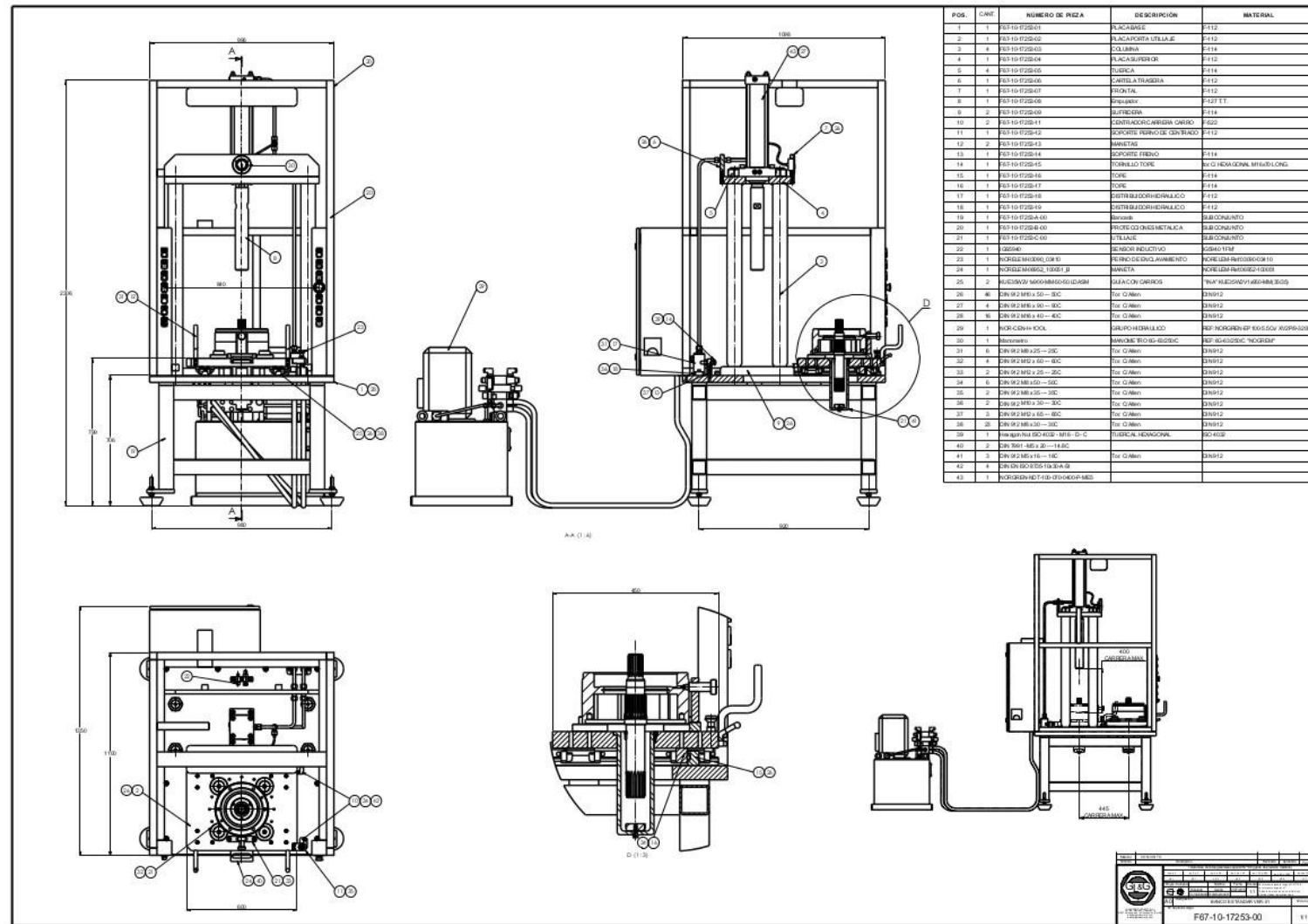



Figura A10-1: “Plano del conjunto de la prensa para premontajes del puesto de reproceso ProDrive”



ANEXO XI

 JOHN DEERE		Referencia		Nivel diseño		TasklistD/Task ID	Dispositivo	Descripción
		DE30056		Producto PRODRIVE				
▲	TQC	Montaje	Documento	Operación	Página			
		Nombre	Fecha	Descripción del cambio				
■	Contenido de trabajo							
●	Verificación							

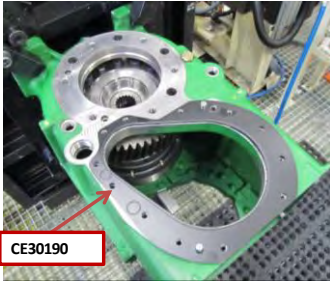
1. GIRAR CARCASA 180°.

2. RETIRAR FLOR ESCLAVA

3. COGER EJE INTERMEDIO DE20363 CON AYUDA DE POLIPASTO Y COLOCAR EN POSICION SOBRE ÚTIL F67-10-17520

4. LEVANTAR DIFERENCIAL CON PALANCA Y ACOPLAR EJE EN POSICION.

5. COLOCAR JUNTA CE30190 EN ZONA DE PARKING BRAKE




CE30190

6. COGER PARKING BRAKE DE30049 CON GANCHO 064 Y COLOCAR EN POSICION.

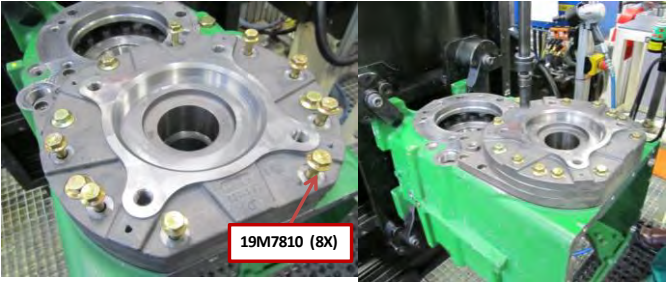
7. MASAJEAR CON MAZO HASTA QUE ASIENTE SI ES NECESARIO.

8. COGER 8 TORNILLOS 19M7810 Y APLICAR ACTIVADOR 7649 Y LOCTITE 270.



Loctite


9. APUNTAR A MANO Y DAR PAR 80±8 A LOS TORNILLOS 19M7810 (X8) CON PISTOLA ELECTRICA N03-CP-70000 EN CRUZ



19M7810 (8X)

10. CONFIRMAR MONTAJE EN TRAZABILIDAD

11. EVACUAR CARRO A LINEA



FIN FASE 1

Figura A11-1: “Ejemplo de hoja de datos mecánicos empleada en el proceso de montaje de la cadena de producción ProDrive”



ANEXO XII

[illegible]

Figura A12-1: “Ejemplo de hoja de ayuda visual para el reproceso de los principales modos de fallo”

		JOHN DEERE																				
				Referencia		Nivel diseño		Elemento	Descripción	Par	Loctite	Activador	Grasa	Aceite	Cantidad	Elemento	Descripción	Par	Loctite	Activador	Grasa	Aceite
				DE30056		VER SEO		DE30018	Eje de Entrada													
						Producto		CE30132	Tapa Eje de Entrada													
						PRODRIVE		CE30192	Junta Tapa CE30132													
				Montaje		Documento		Operación	Pagina	CE21448	Suplementos E.E.											
				MONTAJE FINAL FASE 1						CE21449	Suplementos E.E.											
				Nombre		Fecha		Descripción del cambio		CE21450	Suplementos E.E.											
										19M7657	Tornillos TapaCE30132	35x3.5										
										CE19162	Fijas E.E.											
										R26286	Tornicas Fijas CE19162											
										R63226	Tornica Flor											
										DE30043	Freno											
										19M7791	Tornillos Freno	125x12.5	x	x								
										RE46684	Tapon Freno	40x7										

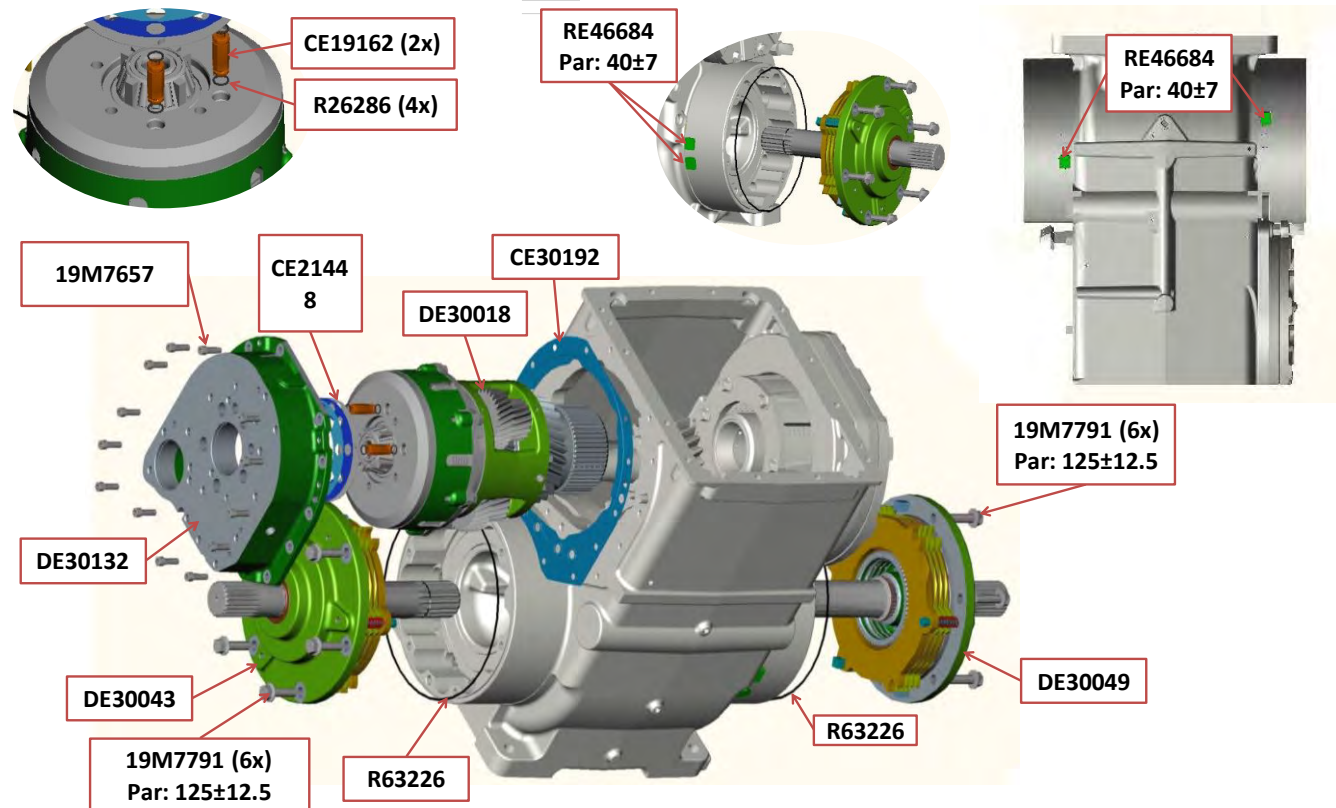


Figura A12-2: "Ejemplo de ayuda visual para el proceso de ensamblado y reproceso de transmisión ProDrive"



ANEXO XIII

Puesto	Ref	Descripción	Cantidad	Loctite	Activador	Par [Nm]	Grasa/Aceite	Dinamometrica	Electrica	Gancho
MF1	DE30041	Carcasa	1							F72-10T-20859
MF1	DE19904	Diferencial	1							F72-10-202684
MF1	R63226	Tórica Flor	1				Grasa			
MF1	N153493	Tórica Flor	1				Grasa			
MF1	CE31401	Tórica Flor	1				Grasa			
MF1	CE18383	Tórica Flor	1				Aceitar			
MF1	DE30053	Flor	1				Aceitar			F72-10-202695
MF1	CE30718	Tornillos Flor	6			370±37			Si	
MF1	CE30190	Junta Parking Brake	1							
MF1	DE20363	Eje Intermedio	1							F72-10S-203884
MF1	DE30049	Parking Brake	1							064/sin numero
MF1	19M7810	Tornillos P.B.	8	Si	Si	80±8			Si	
MF1	RES15370	Tapon de Vaciado 1	1			50±10		Si		
MF2	19M7576	Tornillos P.B.	4	Si	Si	73 ±7			Si	
MF2	DE30051	Flor	1							62
MF2	CE30243	Suplementos Flor	Calcular	Silicona						
MF2	CE30244	Suplementos Flor	Calcular	Silicona						
MF2	CE30245	Suplementos Flor	Calcular	Silicona						
MF2	CE31311	Tórica Flor	2				Grasa			
MF2	BP13613	Guías Flor (pines)	2							
MF2	R39741	Tapón	2			190±30			Si	
MF2	U13639	Tórica Tapón R39741	2							
MF2	BP13613	Guías Flor (pines)	2							
MF2	61M5002	Racor Freno	2			38±3,5		Si		
MF2	CE30718	Tornillos Flor	6			370 ± 37			Si	
MF3	DE30018	Eje de Entrada	1							
MF3	CE30132	Tapa Eje de Entrada	1							Imán
MF3	CE30192	Junta Tapa CE30132	1							
MF3	CE21448	Suplementos E.E.	Calcular							
MF3	CE21449	Suplementos E.E.	Calcular							
MF3	CE21450	Suplementos E.E.	Calcular							
MF3	19M7657	Tornillos Tapa CE30132	13			35±3,5			Si	
MF3	CE19162	Fijas E.E.	2							
MF3	R26286	Tóricas Fijas CE19162	4							
MF3	R63226	Tórica Flor	2				Aceite			
MF3	DE30043	Freno	2							99
MF3	19M7791	Tornillos Freno	6x2	Si	Si	125±12,5			Si	
MF3	RE46684	Tapon Freno	4			40±7		Si		
MF4	19M8448	Tornillo E.E.	5	Si	Si	125±12,5			Si	
MF4	JD8251	Pista E.I.	1							
MF4	JD8257	Pista E.E.	1							
MF4	CE21428	Tapa E.I.	1							
MF4	CE30939	Tapa E.E.	1							
MF4	40M7090	Anillo E.I.	1							
MF4	CE31683	Pin E.I. y E.E.	2							
MF4	CE21487	Suplementos E.I.	CALCULAR							
MF4	CE21488	Suplementos E.I.	CALCULAR							
MF4	CE21489	Suplementos E.I.	CALCULAR							
MF4	40M7044	Anillo E.E.	1							
MF4	R33248	Tórica tapa E.E.	1							
MF4	CE19031	Suplementos E.E.	Calcular							
MF4	CE19032	Suplementos E.E.	Calcular							
MF4	CE19033	Suplementos E.E.	Calcular							
MF4	15H255	Tapón Tapa CE30132	1	Si		34±7		Si		
MF4	RES15370	Tapones de Vaciado 2	1			Sin par. Se da en Rodadura				
MF4	CE22002	Filtro	1				GRASA			
MF4	DE30425	Tapa	1							
MF4	CE20083	Tornillo Allen Filtro	1	Si	Si					
MF4	DE21030	Deflector	1							
MF4	19M8446	Tornillos Deflector	4			34±7		Si	No	
MF4	19M7786	Tornillos Tapa	12			50±5			Si	
MF4	25M3827	Remaches	2							
MF4	CE18313	Chapa	1							
MF4	AXE16242	Sensor P.B.	1			30±4		Si	No	
MF5	RES57634	Sensor de Vueltas	1			15±3		Si	No	
MF5	61M5002	Racor Carcasa	1			40±7		Si	No	
MF6	R98502	Racor Tapa E.I. y E.E.	2							
MF6	CE30896	Junta C.V.	1							
MF6	DE30399	Cuerpo de Válvulas	1							
MF6	19M8130	Tornillos C.V.	2			73±3,5			Si	
MF6	19M7576	Tornillos C.V.	13			73±7			Si	
MF6	19M8024	Tornillos C.V.	1			35±3,5			Si	
MF6	60M5017	Racor C.V.	1							
MF6	AZ101765	Acumulador	1							
MF6	CE21547	Proteccion Acumulador	1							
MF6	H174603	Tuerca Acumulador	1							
MF6	61M5003	Racor Acumulador	1							
MF6	DE30424	Tubería Acumulador	1							
MF6	DE30230	Racor Sensor	2							
MF6	19M7864	Tornillos protec acum	2			35±3,5				
MF6	AH223134	Sensor Freno	2			38±3,8				

Figura A13-1: "Hoja de montaje para el reproceso de la transmisión ProDrive DE30056"